

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Katedra textilní chemie



Študijný program: 3107 R001 Bakalársky študijný program

Študijný obor: Chemická technológia zušľacht'ování

Chování PAL ve vlákenných soustavách

Behaviour of surface active agents into fibres systems

Miroslava ŠPALDOVÁ

KTC - 69

Vedúci bakalárskej práce: doc. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Konzultant bakalárskej práce: Ing. Romana Grygarová, Bc.

**Rozsah práce a príloh:**

|                 |    |
|-----------------|----|
| Počet strán:    | 60 |
| Počet obrázkov: | 15 |
| Počet tabuliek: | 14 |
| Počet grafov:   | 13 |
| Počet príloh:   | 3  |



## **Anotácia**

Cieľom bakalárskej práce teoretickej a experimentálnej časti bolo stanoviť povrchové napätie kvapalín povrchovo aktívnych látok (PAL) v závislosti na ich koncentráciách a čase pri ich sorpcii na použitý polymérny materiál (polypropylén, polyester).

Ďalším cieľom bolo meranie kontaktných uhlov roztokov povrchovo aktívnych látok, za účelom zistenia zmáčavosti kvapiek povrchovo aktívnych látok na polypropylénových a polyesterových fóliách a následne zistiť povrchovú energiu polypropylénovej a polyesterovej fólií.

V závere tejto práce boli vyhodnotené výsledky jednotlivých meraní experimentálnej časti, ktoré boli namerané za pomoci prístrojov tenzometru Krüss K12 a Lucie.

## **Kľúčové slová**

povrchovo aktívne látky, polypropylén, polyester, povrchové napätie, zmáčanie, sorpcia, kontaktný uhol

## **Annotation**

Mission of theoretical and experimental element of my baccalaureate labor was determine surface tension of liquid surface-active agents (PAL) in dependency on their concentrations and time at their sorption at disposal polymeric material (polypropylene, polyester).

Other target was measurement of angles of solutions surface-active stuffs, in order to discovery of a wet ability of instillations surface-active stuffs at polypropylene and polyester foils and consequently find out surface energy of polypropylene and polyester foils and consequently find.

In finishing section of this labor were valorization of individual measurements of experimental element, which they were measure out with the help of a tensometer's machines Krüss K12 and Lucie.

## **Key words**

surface active agents, polypropylene, polyester, surface tension, wetting, sorption, contact angle

## Prehlásenie

Prehlasujem, že predložená bakalárska práca je pôvodná a spracovala som ju samostatne. Prehlasujem, že citácia použitých prameňov je úplná, že som v práci neporušila autorské práva (v zmysle zákona č. 121/2000 Zb. o práve autorskom a o právach súvisiacich s právom autorským).

Súhlasím s umiestnením bakalárskej práce v Univerzitnej knižnici TUL.

Bola som oboznámená s tým, že na moju bakalársku prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Zb. o práve autorskom, hlavne § 60 (školské dielo).

Beriem na vedomie, že TUL má právo na uzavretie licenčnej zmluvy o použití mojej bakalárskej práce a prehlasujem, že **s ú h l a s í m** s prípadným použitím mojej bakalárskej práce (predaj, zapožičanie apod.).

Som si vedomá toho, že použiť moju bakalársku prácu či poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem iba so súhlasom TUL, ktorá má právo odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, vynaložených univerzitou na vytvorenie diela (až do ich skutočnej výšky).

V Liberci, 4.1. 2008

.....

Podpis

### **Pod'akovanie**

Touto cestou by som sa rada pod'akovala doc. Ing. Jabubovi Wienerovi, Ph.D., vedúcemu mojej bakalárskej práce za cenné rady, pripomienky, ochotu a trpezlivosť pri vytváraní tejto bakalárskej práce. Súčasne by som sa chcela pod'akovať Ing. Romane Grygarovej, Bc., konzultantovi bakalárskej práce.

Moje ďalšie pod'akovanie patrí Ing. Jane Müllerovej, Ph.D., za technickú pomoc pri vytváraní experimentálnej časti tejto práce.

V neposlednom rade sa chcem pod'akovať aj svojej rodine, ktorá mi umožnila štúdium na tejto vysokej škole, materiálne a psychicky ma podporovala, bez nej by táto práca nevznikla.

**OBSAH**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>OBSAH .....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV .....</b>                | <b>7</b>  |
| <b>1. ÚVOD.....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>2. VLÁKNA .....</b>   | <b>10</b> |
| 2.1 Polypropylénové vlákno.....                                  | 10        |
| 2.2 Polyesterové vlákno.....                                     | 10        |
| <b>3. TENZIDY .....</b>  | <b>11</b> |
| 3.1 Kritická micelová koncentrácia.....                          | 13        |
| 3.2 Klasifikácia tensidov .....                                  | 15        |
| 3.2.1 Klasifikácia tensidov podľa ich iónového charakteru.....   | 15        |
| 3.2.2 Iné typy tensidov .....                                    | 21        |
| 3.2.3 Klasifikácia tensidov na základe číselnej hodnoty HLB..... | 23        |
| <b>4. ZMÁČANIE.....</b>  | <b>23</b> |
| <b>5. ADSORBCIA .....</b>  | <b>25</b> |
| 5.1 Adsorpčná rovnováha .....                                    | 26        |
| 5.2 Mechanizmus adsorpcie tensidov .....                         | 28        |
| 5.3 Kinetika adsorpcie tensidov .....                            | 29        |
| <b>6. SORPCIA.....</b>   | <b>30</b> |
| 6.1 Faktory podmieňujúce sorpciu.....                            | 30        |
| 6.2 Chemické princípy sorpčných dejov .....                      | 31        |
| <b>7. POVRCHOVÉ NAPÄTIE.....</b>                                 | <b>32</b> |
| <b>8. KONTAKTNÝ UHOL.....</b>                                    | <b>34</b> |
| 8.1 Meranie uhlu zmáčania .....                                  | 36        |
| <b>9. EXPERIMENT .....</b>                                       | <b>37</b> |
| 9.1 Úloha experimentu.....                                       | 37        |
| 9.1.1 Textilie.....  | 37        |
| 9.1.2 Fólie.....   | 41        |
| 9.2 Prevedené pokusy.....  | 47        |
| 9.2.1 Experiment č. 1 .....                                      | 47        |
| 9.2.2 Experiment č. 2 .....                                      | 52        |
| 9.2.3 Experiment č. 3 .....                                      | 54        |
| <b>10. ZÁVER.....</b>  | <b>56</b> |
| <b>11. ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY .....</b>                      | <b>57</b> |
| <b>ZOZNAM OBRÁZOK, TABULIEK A GRAFOV .....</b>                   | <b>59</b> |
| Zoznam obrázkov .....  | 59        |
| Zoznam tabuliek .....  | 59        |
| Zoznam grafov .....  | 60        |

**ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV**

|       |  |
|-------|--|
| atď.  | a tak ďalej  |
| A     | hydrofóbná monoména skupina  |
| B     | hydrofilná skupina   |
| b     | konštanta  |
| $c_L$ | rovnovážna koncentrácia v roztoku [ $\text{mmol.l}^{-1}$ , $\text{mg.l}^{-1}$ ]                                  |
| $c_s$ | skutočné množstvo adsorbovanej látky [ $\text{mmol.g}^{-1}$ , $\text{mg.g}^{-1}$ ]                               |
| dF    | sila   |
| dl    | plocha   |
| G     | voľná entalpia   |
| HLB   | hydrofilne – lipofilna rovnováha (hydrophylic – lipophylic balance)  |
| k     | konštanta Freundlichovej izotermy  |
| KMK   | kritická micelová koncentrácia   |
| L-G   | kvapalina – plyn   |
| L-L   | kvapalina – kvapalina  |
| L-S   | kvapalina – pevná látka  |
| log k | úsek vytínajúci priamka na ose y   |
| m     | meter  |
| M     | relatívna molekulová hmotnosť tenzidu  |
| Mh    | relatívna molekulová hmotnosť hydrofilného podielu tenzidu   |
| Mp    | relatívna molekulová hmotnosť hydrofóbného podielu tenzidu   |
| n     | koeficient Freundlichovej izotermy   |
| n     | smernica priamky   |
| napr. | napríklad  |
| P     | konštantný tlak  |
| PAL   | povrchovo aktívne látky (tenzidy)  |
| pH    | kyslosť  |
| r     | relatívna vlhkosť vlákna   |
| R     | uhlíkový reťazec   |
| resp. | respektívne  |
| S     | množstvo, ktoré odpovedá monomolekulárnemu pokrytiu celého povrchu [ $\text{mmol.g}^{-1}$ , $\text{mg.g}^{-1}$ ] |

|               |   |
|---------------|---|
| $S$           | plocha  |
| $S-G$         | tuhá látka – plyn   |
| $S_{LS}$      | rozpriesterací koeficient   |
| $T$           | konštantná teplota  |
| tj.           | to je   |
| tzv.          | takzvaná  |
| $\gamma$      | povrchové napätie kvapaliny   |
| $\gamma_l$    | povrchová energia kvapaliny   |
| $\gamma_s$    | povrchová energia kvapaliny   |
| $\gamma_{sg}$ | povrchová energia tuhej látky v rovnováhe s parou kvapaliny<br>tvoriacou kvapku |
| $\gamma_s^o$  | povrchová energia čistej tuhej látky  |
| $\gamma_{sl}$ | medzifázová energia tuhá látka - kvapalina                                      |
| $\gamma_s$    | povrchové napätie pevného telesa  |
| $\gamma_{SL}$ | medzipovrchové napätie kvapaliny a pevného telesa                               |
| $\varphi$     | relatívna vlhkosť vzduchu   |
| $\sigma$      | povrchové napätie [N/m]   |



## 1. ÚVOD

„Povrchovo aktívne látky“ inak povedané tenzidy označujú skupinu organických látok, pre ktoré je charakteristická povrchová aktivita. Sú to látky znižujúce voľnú povrchovú energiu systému tým, že na rozhraní nahrádzajú molekuly roztoku s vyššou povrchovou energiou. Medzi ich vlastnosti patrí hlavne zlepšenie rozpustnosti látok málo rozpustných, nízka micelová korelácia, znižovanie povrchového napätia a iné.

Jednou z ďalších charakteristických vlastností povrchovo aktívnych látok je, že sa dokážu pri nízkych koncentráciách stabilizovať v medzifázovej oblasti, a tým znižovať povrchové napätie sústavy.

Povrchovo aktívne látky nachádzajú uplatnenie v rôznych priemyselných odvetviach, napr. vo farmaceutickom, poľnohospodárskom, potravinárskom, ale aj na výrobu kozmetiky a v stavebníctve.

Úlohou tejto bakalárskej práce bolo stanoviť povrchové napätie kvapalín povrchovo aktívnych látok v závislosti na ich koncentráciách a čase pri ich sorpcii na daný materiál a stanoviť kontaktné uhly roztokov za účelom zistenia zmáčavosti kvapiek povrchovo aktívnych látok a povrchovej energie na daných fóliách.

## 2. VLÁKNA

Vlákná sú základné stavebné jednotky všetkých textílií. Pojem vlákno je chápaný viac-menej intuitívne, mení sa im obvykle nejaký dostatočne dlhý a tenký tvar. Etymologicky vychádza slovo *vlákno* zo staroindického koreňa *valká*. V textilnej praxi sa niekedy používa slovo *textilné vlákno*. Má sa tým na mysli vlákno, ktoré sa používa v textilných technológiách. Pri textilných vláknach sa podľa potreby stanovuje mnoho rôznych charakteristík, ako je ich dĺžka, jemnosť, priemer, tvar priečneho rezu, merný povrch, štihlosť, zaoblukovanie, pevnosť a pružnosť a podobne, [1].

### 2.1 Polypropylénové vlákno

Ako každé textilné vlákno prírodné aj chemické, majú aj polypropylénové vlákna svoje charakteristické vlastnosti, ktorými sa odlišujú od iných vlákien, a pri projektovaní ich využitia v textilných výrobkoch sa práve tieto ich prednosti a špecifické vlastnosti využívajú.

V začiatkoch vývoja sa polypropylénovým vláknám nepredpovedalo veľké uplatnenie v textilnom priemysle a sortimente jeho výrobkov, pretože ich prirodzená hydrofóbnosť, povrchová nefarbitelnosť, parafínový omak a veľká povrchová lepivosť sťažovali a obmedzovali možnosti ich prípravy a spracovania do textilných výrobkov tkaných, pletených, prepletaných a netkaných. Textíliám chýbala pestrá farebnosť, príjemný omak, nemačkovosť a hygienické vlastnosti. Vznikali obtiažne pri ich ošetrovaní, odstraňovaní nečistôt praním vo vodných láznach a pri odstraňovaní olejov a tukov, spôsobené ich lipoidnými a oleofilnými vlastnosťami, [2].

### 2.2 Polyesterové vlákno

Význam polyesterových vlákien je v tom, že textilný priemysel môže z nich pri dobrých ekonomických výsledkoch vyrábať výrobky s veľmi dobrými vlastnosťami. Význam a rozšírenie používania polyesterových vlákien ovplyvňujú skutočnosti výhodných vlastností nielen ako striže, ale aj ako nekonečného vlákna. Ich vlastnosti možno meniť v širšom rozsahu, čomu napomáha aj modifikácia.

V súčasnosti sa vyrába široký sortiment polyesterových vlákien, takže textilný priemysel si môže pre každý druh výrobku zvoliť surovinu s najprimeranejšími vlastnosťami.

Veľmi dobre odolávajú rôznym vplyvom (napr. chemikálie,...). Niektoré nevýhodné vlastnosti sa dajú vo veľkej miere eliminovať pri textilnom spracúvaní a čiastočne už aj pri výrobe vlákna. Nežiaduce vlastnosti polyesterových vlákien sa potláčajú miešaním polyesterovej striže s inými prírodnými alebo chemickými vláknami.

Pre dobré vlastnosti si výrobky z PET vlákien získali veľkú obľubu spotrebiteľov, čo im zabezpečuje stále sa zväčšujúci odber, [3].

### 3. TENZIDY

Tenzidy označujú skupinu organických látok, ktorých charakteristickou vlastnosťou je povrchová aktivita. Preto ich tiež nazývame povrchovo aktívne látky.

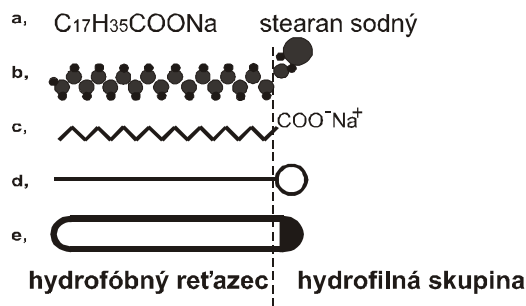
Pri nízkych koncentráciách vo veľkej miere menia reakčné podmienky na fázovom rozhraní, predovšetkým znižovaním povrchového napätia. Pod pojmom fázové rozhranie rozumieme plochy oddeľujúce dve fázy. Týmito fázami môžu byť kvapalina - kvapalina (L-L), kvapalina – pevná látka (L-S), kvapalina – plyn (L-G) alebo tuhá látka – plyn (S-G).

Tieto špecifické vlastnosti tensidov priamo súvisia s chemickou a fyzikálnou štruktúrou ich molekúl, ktoré majú asymetrický dipolárny charakter s výrazným dipólovým momentom.

Molekula tensidu je zložená z dvoch častí:

- **polárna časť** tj. **hydrofilná** – má veľkú afinitu k vode a vo vodnom prostredí je hydratovaná, ovplyvňuje rozpustnosť tensidu. Hydrofil prítomný v molekule ovplyvňuje celkovú polaritu, rozdelenie elektrického náboja, ako aj celkový iónový charakter tensidu. Sú to napr. iónové skupiny  $\text{COO}^-$ ,  $\text{SO}_3^-$ ,  $\text{OSO}_3^-$  alebo neiónové skupiny  $\text{CONH}^-$ ,  $\text{SO}_2\text{NH}$ .
- **nepolárna časť** tj. **hydrofóbná** – tvorí ju zvyčajne dlhý uhlíkový reťazec – R a je príčinou povrchovej aktivity tensidu. Vodu odpudzuje a v prítomnosti vody sa snaží vytvárať také štruktúrne zoskupenia, aby ich vzájomná orientácia umožňovala tvorbu „hydrofóbných kontaktov“.

Molekula tenzidu s polárnou a nepolárnou časťou má teda tzv. *amfipatickú* stavbu molekuly, [4;5].

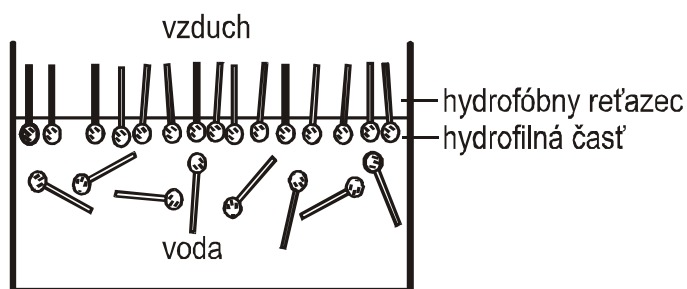


Obrázok 3-1 Grafické znázornenie amfipatickej molekuly povrchovo aktívnej látky, [6]

Na základe tejto difilnosti sa v roztokoch tenzidov uplatňujú vzájomné interakcie van der Waalsovského charakteru nielen medzi jednotlivými molekulami tenzidu, ale aj medzi jednotlivými časťami molekúl tenzidu a molekulami rozpúšťadla. Voda ako rozpúšťadlo má afinitu k hydrofilu a odpudzuje hydrofóbny úsek molekuly tenzidu.

V dôsledku toho, sa aj molekuly tenzidu chovajú rôzne:

- Molekuly tenzidu difundujú na povrch rozpúšťadla, adsorbujú sa na fázovom rozhraní medzi vzduchom a roztokom, pokrývajú povrch roztoku rovnomerným filmom o hrúbke jednej molekuly, a tým vytvárajú tzv. *monomolekulovú vrstvu* povrchového filmu.



Obrázok 3-2 Orientovaná adsorpcia povrchovo aktívnych molekúl na povrchu vody, [7]

V prípade fázového rozhrania kvapalina – plyn (L-G) alebo kvapalina – kvapalina (L-L) ide o *adsorpciu na pohyblivom fázovom rozhraní* a v prípade rozhrania pevná látka – plyn (S-G) alebo pevná látka – kvapalina (S-L) ide o *adsorpciu na tuhom fázovom rozhraní*, [5].

Ak sa v roztoku dosiahne určitá koncentrácia tenzidu tzv. *kritická micelová koncentrácia*, molekuly alebo ióny tenzidu spontánne agregujú do väčších útvarov nazývaných *micely*. Micely sú zložené z kryštalických agregátov s veľkosťou častíc, ktoré sú typické pre koloidný stav.

Neasociované molekuly alebo ióny tenzidu, ktoré sú povrchovo aktívne, sa v určitom roztoku adsorbujú na fázovom rozhraní a vytvárajú povrchový film. Micely sa priamo nezúčastňujú na tvorbe povrchového filmu, ale v dôsledku dynamickej rovnováhy medzi koncentráciou micel a neagregovaných molekúl tenzidu ovplyvňujú znižovanie medzipovrchového napätia na rozhraní dvoch fáz, [5].

**Povrchové javy** majú veľký význam v heterogénnych viaczložkových a viacfázových sústavách. Ako sú: adsorpcia, disperzné sústavy, suspenzie, emulzie, peny, zmáčacie procesy, pranie, čistenie, solubilizácia a mnohé ďalšie.

Molekuly tenzidu majú schopnosť sa orientovane adsorbovať na fázovom rozhraní, čím sa jeho vlastnosti podstatne menia. Interakcie medzi molekulami povrchovo aktívnej látky (ako celku) a molekulami rozpúšťadla sú vždy menšie než interakcie medzi molekulami rozpúšťadla.

**Povrchové napätie kvapaliny  $\gamma$**  definujeme ako silu pôsobiacu v povrchu kvapaliny kolmo na jednotku dĺžky povrchu. Jednotkou povrchového napätia je  $[N.m^{-1}]$ , ide o napätie v ľubovoľnom reze povrchu kvapaliny pôsobiace kolmo na 1m dĺžky silou 1Newtona.

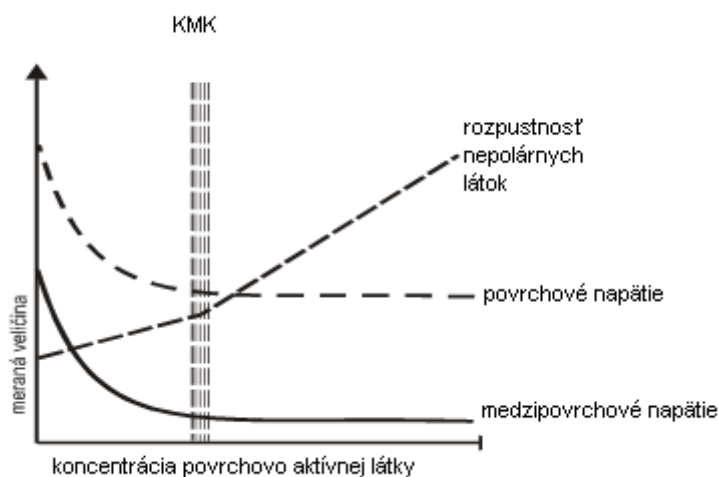
Schopnosť tenzidu znižovať povrchové napätie, je meraná pomocou voľnej povrchovej energie jednotkovej plochy, potrebnej na prenos molekuly z roztoku na povrch. Vďaka prítomnosti tenzidu stačí menšia práca na prenos molekuly na povrch a povrchové napätie je nižšie, [5;8].

### 3.1 Kritická micelová koncentrácia

Chovanie tenzidov na fázovom rozhraní a ich schopnosť vytvárať adsorbované filmy, ovplyvňuje povrchovú energiu fázového rozhrania a určuje jeho ďalší prejav.

V pomerne úzkom koncentračnom rozmedzí, v oblasti plného obsadenia fázového rozhrania monomolekulárnou resp. mnohomolekulárnou vrstvou tenzidu vykazujú vodné roztoky tenzidov výrazné zmeny svojich vlastností.

Koncentráciu tenzidu, pri ktorej k týmto zmenám dochádza, označujeme ako *kritická micelová koncentrácia* (kritická koncentrácia tvorby micíel). Kritická koncentrácia tvorby micíel je definovaná ako minimálna koncentrácia potrebná na začatie tvorby micíel a tiež ako maximálna koncentrácia molekúl tenzidu vo vodnom roztoku a je ovplyvnená pH, teplotou a iónovou silou, [4].



Obrázok 3-3 Zmeny vlastností tenzidu v oblasti kritickej micelovej koncentrácie, [8]

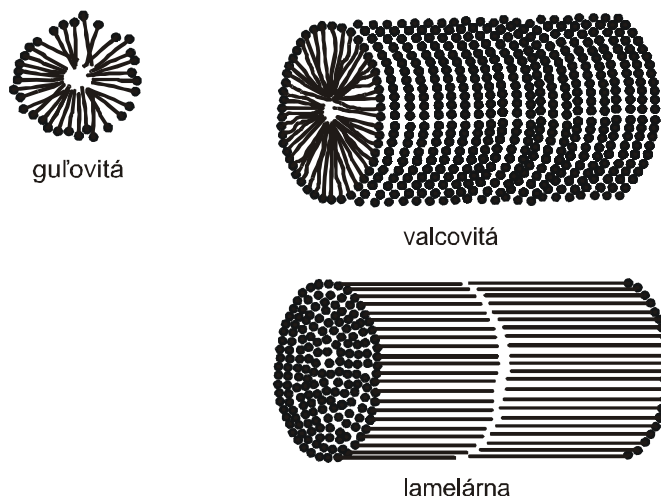
Tvorba micíel sa prejaví napr. pri meraní práce schopnosti, povrchového napätia, zmáčavosti, solubilizačnej účinnosti atď., na koncentrácií tenzidu, kedy dochádza k zmene účinnosti skokom resp. k zlomu na príslušnej krivke meraných závislostí. V oblasti KMK, kedy sú vo vodnom roztoku micely tenzidu v rovnováhe s neasociovanými molekulami tenzidu, môžeme pozorovať maximálnu účinnosť týchto látok. Podstatné prekročenie tejto koncentrácie je neekonomické, pretože nevedie k ďalšiemu zvýšeniu účinnosti prostriedkov. [9]

Pri koncentráciách nad kritickou micelovou koncentráciou (v zriedených roztokoch) môžu nastať tri prípady štrukturálneho usporiadania micíel:

- **lamelárne micely** sa striedavo skladajú z vrstiev rozpúšťadla (najmä vody) a z dvojitého radu difilných molekúl tenzidu. Hydrofóbne oblasti molekúl sú navzájom paralelne uložené vnútri v dôsledku hydrofóbných kontaktov (analogicky ako pri tvorbe povrchového filmu, z vnútra radu vytlačia všetky molekuly polárneho rozpúšťadla).
- **valcová štruktúra micíel** má štruktúru s dvojitém usporiadaním vrstiev do tvaru tyčiniek, valcov alebo diskov, usporiadaných do väčších

útvarov.

- **guľové micely** – uhlíkové reťazce sú navzájom prepletené a polárne skupiny smerujú von, [5;6].



Obrázok 3-4 Rôzne typy miciel, [7]

## 3.2 Klasifikácia tenzidov

Tenzidy môžeme klasifikovať z viacerých hľadísk:

- na základe iónového charakteru
- na základe hydrofóbnej zložky
- na základe číselnej hodnoty HLB
- na základe aplikačného použitia
- na základe biodegradability

### 3.2.1 Klasifikácia tenzidov podľa ich iónového charakteru

Podľa iónového charakteru hydrofilnej skupiny rozdeľujeme tenzidy na dve základné skupiny:

- iónové
- neiónové

**Iónové tenzidy** obsahujú funkčné skupiny, ktoré vo vodnom roztoku disociujú na kladne a záporne nabité ióny alebo na ióny, ktorých náboj závisí na pH prostredia. Tieto ióny sú účinnou zložkou povrchovej aktivity.

Na základe elektrického náboja, ktorý zostane na organickej časti molekuly tenzidu po jej disociácii vo vode, rozoznávame tenzidy:

- **aniónové**
- **katiónové**
- **amfolytické**

**Neiónové tenzidy** obsahujú polárne skupiny, ktoré vo vodnom prostredí nedisociujú. Sú to napr.  $-\text{OH}$ ,  $-\text{O}-$ , [5;6;7].

### **Aniónové tenzidy**

Tvoria najrozšírenejšiu skupinu povrchovo aktívnych látok vďaka množstvu rôznych druhov s rozdielnym štruktúrnym usporiadaním molekuly a požadovanými základnými a špecifickými fyzikálno – chemickými vlastnosťami.

Hlavné funkčné skupiny hydrofilnej časti molekuly môžu byť napr.:  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{SO}_3\text{H}$ ,  $-\text{OSO}_3\text{H}$ ,  $-\text{OPO}(\text{OH})_2$ .

Aniónové tenzidy sú účinné pracie, zmáčacie a emulgačné prostriedky. Podľa druhu ionizovanej funkčnej skupiny molekuly ich delíme do nasledujúcich podskupín:

#### ➤ **Tenzidy na báze solí karboxylových kyselín**

Najdôležitejšími zástupcami tejto skupiny sú *mydlá*.

Obečný vzorec:  **$\text{R} - \text{COOMe}$**

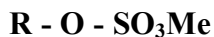
- sú to sodné, draselné alebo amónne ( $\text{Me} = \text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $-\text{NH}_4$ ) soli vyšších alifatických karboxylových kyselín.

#### ➤ **Sulfozlučneniny**

**Sulfáty** – ide o dôležitú triedu povrchovo aktívnych sírnych zlúčenín na báze solí esterov kyseliny sírovej s organickými hydroxyzlúčeninami, najčastejšie alkoholmi.



Jedným zo zástupcov sú sulfáty vyšších mastných alkoholov – **alkylsulfáty** (esterovo viazaná kyselina sírová).

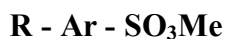


napr. sodná soľ laurylsulfátu  $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{OSO}_3\text{Na}$  – obchodný produkt Syntapon

alkylsulfát sodný  $\text{R} - \text{O} - \text{SO}_3\text{Na}$  – obchodný produkt Texamerc

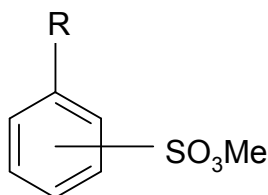
**Sulfonany** – sú to soli organických sulfokyselín odvodených od alkánov, alkénov, alkylarénov, mastných kyselín a ich esterov, esterov nenasýtených dikarboxylových kyselín atď.

Patria tu **alkylarylsulfonany** (priamo viazaná kyselina sírová) a **alkylsulfonany**.



(Me = Na)

napr. sodná soľ lineárnej alkylbenzénsulfonovej kyseliny – obchodný názov Abeson INA

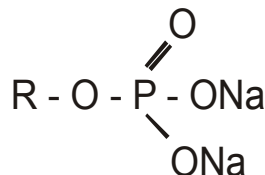


### ➤ Fosforečnany

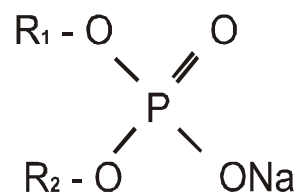
Túto skupinu zastupujú estery kyseliny fosforečnej, hlavne amónne, sodné a alkanolaminové soli mono- a diesterov kyseliny fosforečnej s alifatickými alkoholmi.

Patria tu **alkylfosfáty** a **alkylfenylfosfáty**, [4;6;7].

napr.



monoalkylfosforečnan sodný (primárne estery)



dialkylfosforečnan sodný (sekundárne estery)

### Katiónové tenzidy

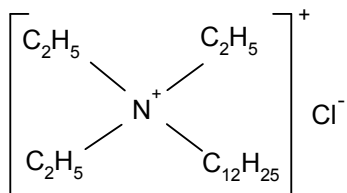
Od aniónových sa líšia tým, že ión, ktorý má tenzidový charakter, nesie kladný náboj a to ovplyvňuje ich povrchovú aktivitu. V porovnaní s aniónovými tenzidmi sa prakticky neuplatňujú v detergenčnom procese. Je to dané tým, že pozitívne nabitou časťou molekuly sú priťahované na negatívne nabitý povrch (vrátane nečistoty). Za týchto podmienok nedochádza k uvoľňovaniu nečistoty, kladný náboj je však podstatou ich mikróbicidného a avivážneho účinku na textíliu.

Katiónové tenzidy sú používané ako emulgačné, antistatické, zmáčacie a dispergačné prostriedky. Podľa zloženia ionizovanej funkčnej skupiny ich delíme na:

- organické dusíkaté zlúčeniny
- organické bezdusíkaté zlúčeniny

*Organické dusíkaté zlúčeniny* tvoria rozsiahlu skupinu látok tvorenú alkyl- a alkylaryl-amóniovými zlúčeninami s lineárnymi alkylovými reťazcami, heterocyklickými zlúčeninami dusíku a polymérnymi aminovými alebo amóniovými zlúčeninami. Dĺžka alkylových skupín a ich substitúcia je dôležitá z hľadiska aplikačných možností. **R – N<sup>+</sup>H<sub>3</sub>**

napr.



triethyl-lauryl amonium chlorid  
(povrchovo aktívny kationt)

*Organické bezdusíkaté zlúčeniny* sú kvarternizované organické zlúčeniny obsahujúce fosfor, síru, arzén, antimón a selén. Tento typ tenzidov má využitie prevažne vo farmaceutickom priemysle, [6;7].

**Amfolytické tenzidy**

Okrem kationových a aniónových tenzidov existujú aj tenzidy, ktoré majú v molekule zásaditú amínovú –  $\text{N}^+\text{H}_2$  –, resp. amóniovú –  $\text{N}^+\text{H}_3$  skupinu a kyslú karboxylovú skupinu –  $\text{COO}^-$  alebo sulfoskupinu –  $\text{OSO}_3^-$ .

Vo vodných roztokoch v alkalicknej oblasti sa chovajú ako aniónové a v kyslej oblasti ako kationové tenzidy. Elektroneutrálny charakter získavajú v roztokoch s takým pH, ktoré je priaznivé pre vznik vnútornej soli. V tomto tzv. *izoelektrickom bode*, sú látky málo rozpustné a ich povrchová aktivita je nízka. Pre tieto vlastnosti ich označujeme ako amfolytické resp. amfotérne tenzidy.

Podľa druhu ionizovaných funkčných skupín rozdeľujeme tieto tenzidy do niekoľkých skupín:

- **tenzidy so zásaditou amínovou –  $\text{N}^+\text{H}_2$  –, resp. amóniovou –  $\text{N}^+\text{H}_3$  a kyslou karboxylovou skupinou –  $\text{COO}^-$**

Sú reprezentované hlavne alkylamínokarboxylovou kyselinou a ich sodnou soľou.



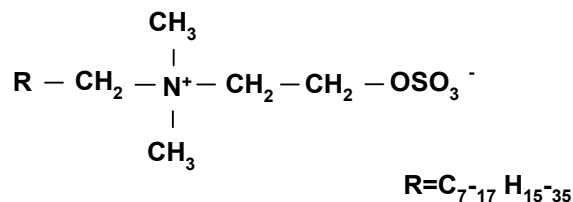
Táto skupina tenzidov má veľmi dobre detergenčné schopnosti, má schopnosť uvádzať do roztoku látky inak nerozpustné napr. mikrobicidy, použiteľné v zmesi s kationovými, aniónovými a neiónovými tenzidmi.

Amfotérne tenzidy betainového typu majú v celej molekule alebo funkčnej skupine kladný náboj ako  $\text{N}^+$ ,  $\text{S}^+$ ,  $\text{P}^+$  a záporný náboj ako napr.  $\text{SO}_2^-$ ,  $-\text{SO}_3^-$ .

Najviac rozšírené sú amfolytické tenzidy príbuzné kvartérnym amóniovým zlúčeninám tzv. *alkylbetainy*, ktoré sa osvedčili ako avivážne a dočasné antistatické prostriedky prevažne na syntetické tkaniny. Ďalšou z významných skupín látok sú tzv. *acylamínokarboxylové deriváty*, ktoré sa uplatňujú v kozmetike a majú antiseptický, baktericídny, antiseptický a dezinfekčný účinok. Tiež dobrú detergenčnú schopnosť a antimikrobiálny účinok.

- **tenzidy so zásaditou amínovou resp. –  $\text{N}^+\text{H}_2$  –, amóniovou –  $\text{N}^+\text{H}_3$  a kyslou sulfoskupinou –  $\text{OSO}_3^-$**

Najväčšiu pozornosť si zasluhujú tzv. *sulfobetainy*



Sulfobetainy sú typické obojaké tenzidy, ktorých molekuly necestujú v elektrickom poli a spravidla sa neviažu výmenou iónov. O charaktere tenzidu rozhoduje väčšia dĺžka hydrofilnej alebo hydrofóbnej časti tenzidu. Táto skupina tenzidov sa vyznačuje vlastnosťami ako sú napr.: antimikrobiálne, antivírusové, avivážne a antistatické vlastnosti, po pridaní tenzidu do pracieho prášku môže byť znížená teplota bez zníženia práce účinnosti, [6;7;10].

**Neiónové tenzidy** predstavujú rozsiahlu skupinu povrchovo aktívnych látok, ktorých hydrofilné skupiny vo vode nedisociujú. Afinita týchto zlúčenín k molekulám vody, tým aj rozpustnosť vo vode, je podmienená hydratačnou schopnosťou polárnych tj. hydrofilných skupín. Sú neaktívne voči iónom – sú stále voči kyselinám, zásadám a roztokom všetkých solí (až do určitej kritickej koncentrácie). S aniónovými farbivami vytvárajú nestále zlúčeniny, ktoré nemajú afinitu k vláknám – používajú sa ako účinné egalizačné prostriedky. Podľa druhu mostíka, ktorý spája hydrofilnú polyetylénoxidovú resp. polyhydroxyalkylovú časť s hydrofóbnou časťou molekuly ich delíme na:

- **tenzidy s éterovým mostíkom**

Sú to: - alkylpolyglykolétery  $\text{R} - (\text{O} - \text{CH}_2\text{CH}_2)_n - \text{OH}$

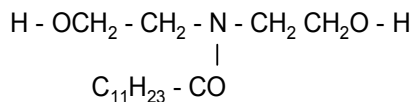
alkylarylpolyglykolétery  $\text{R} - \text{C}_6\text{H}_4 - (\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n - \text{OH}$

- **tenzidy s amínovým resp. amidickým mostíkom**

Táto skupina zahŕňa adičné zlúčeniny etylénoxidu prípadne adičné zlúčeniny propylénoxidu s amínovým alebo amidickým mostíkom spájajúcim hydrofóbnou polyglykoléterovú skupinu s hydrofilnou časťou, ktorá je tvorená lineárnou alkylovou alebo acylovou skupinou.

**Alkylamínopolyglykoletéry** majú baktericídne a detergentné účinky.

napr.



obchodný názov - Alfonal K

- **tenzidy s esterovým mostíkom**

Hydrofóbna časť (acylová skupina mastnej kyseliny) je spojená esterovým mostíkom s hydrofilnou časťou tvorenou polyhydroxyalkylovou alebo polyoxyetylenovou skupinou.

**Acylpolyglykolestery** sa používajú ako antistatické a avivážne prostriedky, emulgátory minerálnych olejov, rastlinných a živočíšnych tukov.



- **tenzidy na báze oxidov**

**Amínooxidy** slúžia ako stabilizátory peny a dispergátory vápenatých mydiel vyšších mastných kyselín, [6;7].

### 3.2.2 Iné typy tensidov

#### Silikónové tensidy

Sú skupinou malých molekúl a polymérnych tensidov, ktoré našli široké uplatnenie vďaka svojim neobvyklým vlastnostiam.

Sú to kopolyméry silikónu a polyéteru. Pozostávajú z hydrofóbnej polydimetylsiloxanovej skupiny spojennej jednou alebo viacerými polárnymi skupinami (oxyalkylénovými polymérnymi reťazcami). Silikónové tensidy výrazne znižujú povrchové napätie vody. Prejavujú inverznú rozpustnosť teda môžu pôsobiť ako speňovače za studena alebo ako odpeňovače v systémoch s teplotou vyššou, ako je teplota ich rozpustnosti. Jedinečná schopnosť silikónových polyéterov stabilizovať emulzie aj v náročných podmienkach bola prisúdená oleofóbnemu charakteru silikónovej zložky.

Neobvyklá schopnosť trisiloxanových tenzidov zmáčať hydrofóbne povrchy, podnecuje ich využitie v odstraňovaní zložitých olejových substancií. V dnešnej dobe sa silikónové tenzidy začínajú používať na prípravu nanoštruktúrnych materiálov, [5;11].

### **Tenzidy obsahujúce v molekule fosfor**

**Fosfátované** tenzidy sú látky oveľa zložitejšie než podobné sulfáty.

Fosfatáciou vyšších mastných alkoholov, alkylfenolov a ich glykolových étherov, vznikajú zmesi mono-, di- a triesterov. To, aký typ esteru bude v tenzide prevládať závisí na reakčných podmienkach, výbere fosfatačného činidla a mólovom pomere hydrofóbnej látky k fosfatačnému činidlu. Sú chemicky stabilné v neutrálnom aj alkalickom prostredí, na rozdiel od neiónových tenzidov, ktoré sa v silne alkalickom prostredí rozkladajú. Majú veľmi dobré solubilizačné vlastnosti, čo sa využíva hlavne pri príprave a výrobe detergentov. V textilnom priemysle sa používajú ako mastiace a preparačné prostriedky, [5].

### **Polymérne tenzidy**

Zloženie polymérneho tenzidu možno všeobecne znázorniť takto:

**A-A-A-(A)<sub>n</sub>-A-B-(B)<sub>n</sub>-B-B** kde, **A** je hydrofóbna monomérna skupina

**B** je hydrofilná skupina

Relatívna molekulová hmotnosť polymérnych tenzidov sa pohybuje okolo desiatok až stoviek tisíc, čo je približne micelová hmotnosť klasických tenzidov. Významnou skupinou polymérnych tenzidov sú kopolyméry maleínanhydridu s alkénovými monomérmi. Čoraz väčší význam majú neiónové polymérne tenzidy ako sú napríklad oxyetylové polyméry mastných kyselín s nenasýtenými väzbami, oxyetylované kopolyméry maleínanhydridu s nenasýtenými mastnými kyselinami a ďalšie. Kopolymeráciou vinylpyrolidónu s vinylovými esterami vyšších mastných kyselín získame polymér rozpustný vo vode, s dobrými povrchovoaktívnymi vlastnosťami. Výbornými dispergátormi sú aniónové polymérne tenzidy pripravené z polyvinylalkoholu sulfatáciou. Kopolyméry kyseliny akrylovej a metakrylovej s kyselinou vinylsulfónovou zabráňujú pozíciu špiny pri praní aniónovými tenzidmi, [5].

### 3.2.3 Klasifikácia tensidov na základe číselnej hodnoty HLB

Tenzidy môžeme hodnotiť a zaradiť podľa použitia hodnoty HLB (hydrophylic – lipophylic balance) ako rovnovážny pomer medzi hydrofilnou a lipofilnou časťou molekuly. Vzájomný pomer polárnej skupiny a nepolárneho zbytku spôsobuje afinitu molekuly tensidu vo vode a ku slabým polárnym organickým rozpúšťadlám. Pomer týchto afínit predstavuje hydrofilne – lipofilnú rovnováhu zlúčeniny. Tento pomer je vyjadrený bezrozmerným číslom, ktoré sa pohybuje v rozmedzí od 0 do 20. Hodnota HLB je definovaná vzťahom :

$$HLB = 20 (1 - M_h / M)$$

pre ktorý platí

$$M = M_h + M_p$$

kde, M ... relatívna molekulová hmotnosť tensidu

M<sub>h</sub> ... relatívna molekulová hmotnosť hydrofilného podielu tensidu

M<sub>p</sub> ... relatívna molekulová hmotnosť hydrofóbneho podielu tensidu

Podľa hodnoty HLB môžeme tensidy rozdeliť do týchto aplikačných skupín: emulgátory, zmáčadlá, detergenty a solubilizátory, [7].

## 4. ZMÁČANIE

Patria tu javy, ktoré sú tiež určované intenzitou vzájomného pôsobenia medzi molekulami rôznych látok.

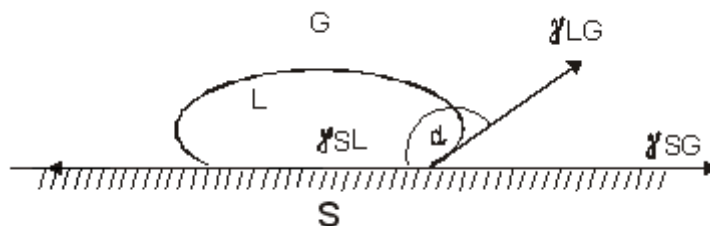
Styk vody s povrchom pevného telesa je charakterizovaný vlastnosťou nazývanou *zmáčavosť* tj. schopnosť kvapaliny rozprestierať sa na povrchu pevného telesa. Pri zmáčaní sa uplatňujú vlastnosti jednotlivých fáz, ktoré súvisia so zmáčavosťou pevného povrchu a zmáčacou schopnosťou kvapaliny. Ak pôsobia molekuly kvapaliny a molekuly tuhej látky na seba silnejšie než molekuly danej fázy medzi sebou, rozprestiera sa kvapalina na pevnom povrchu čiže ho zmáča. Rozprestieranie prebieha tak dlho, pokiaľ kvapalina nepokryje celý povrch tuhej látky alebo pokiaľ vrstva nie je monomolekulárna. To do akej miery dochádza k zmáčaniu pevného povrchu, rozhoduje veľkosť kontaktného (zmáčacieho) uhla  $\alpha$ , ktorý je charakteristickou veličinou trojfázovej sústavy pevná látka – kvapalina – vzduch. Kvapka pri styku s pevným povrchom nadobúda tvar, ktorý je daný veľkosťou povrchového napätia pevného telesa

$\gamma_s$ , medzipovrchovým napätím kvapaliny a pevného telesa  $\gamma_{SL}$  a povrchovým napätím kvapaliny  $\gamma_L$ .

Rovnovážny stav medzi uvedenými veličinami vyjadruje Youngova rovnica, [12]

$$\gamma_s = \gamma_{SL} + \gamma_L \cdot \cos \alpha$$

Vzájomná rovnováha jednotlivých síl je daná smerom a veľkosťou ich vektorového pôsobenia.



Obrázok 4-1 Znázornenie tvaru kvapky kvapaliny (L) na pevnom povrchu (S) a smery vektorového pôsobenia povrchových a medzipovrchových síl,  $\alpha$  - kontaktný uhol

Podmienkou pre úplne zmáčanie pevného povrchu kvapalinou tj. dosiahnutie stavu, kedy  $\alpha = 0$ , je podľa rovnovážnej Youngovej rovnice [13], aby

$$S_{LS} = \gamma_s - \gamma_{SL} - \gamma_L \geq 0$$

kde  $S_{LS}$  je rozprestierací koeficient v prípade, že povrch pevnej látky nie je resp. je pokrytý adsorbovaným filmom látky, ktorá je v rovnováhe s kvapalinou. Tendencia kvapaliny rozprestierať sa na povrchu pevnej látky je vyjadrená rozdielom medzi zmáčacím napätím a povrchovým napätím kvapaliny. Táto hodnota sa nazýva **rozprestieracie napätie**. Ak je rozprestieracie napätie kladné, kvapalina sa na povrchu pevnej látky samovoľne rozprestrie. Zmäčavosť má veľký význam pre radu dôležitých technologických procesov: farbenie, pranie, bielenie, impregnácia atď. Dobrá zmáčavosť roztoku je jednou zo základných podmienok dosiahnutia žiadaného účinku, [14;15].



## 5. ADSORBCIA

Adsorpcia tenzidov je proces prechodu molekúl tenzidu z roztoku na povrch - rozhranie. Látka, ktorá adsorbuje sa nazýva *adsorbent* a látka, ktorá sa adsorbuje označujeme ako *adsorbát*. *Desorpcia* je odpútavanie adsorbovaných molekúl späť do plynnej alebo kvapalnej fázy. Ak molekuly adsorbátu nezostávajú iba na povrchu adsorbentu, ale vnikajú do jeho štruktúry a niekedy priamo až medzi atómy jeho kryštálovej mriežky, hovoríme o absorpcii. Celkovo sa potom tento proces nazýva sorpcia.

S adsorpciou súvisia zmeny náboja častíc a mnoho ďalších javov. Adsorpcia je povrchový jav. Rozlišujeme fyzikálnu (van der Waalovu) adsorpciu a chemickú adsorpciu (chemisorpciu).

V prípade fyzikálnej adsorpcie ide o pôsobenie adsorpčných síl rovnakého charakteru ako sú sily medzimolekulové čiže van der Waalove. Fyzikálna adsorpcia je vždy vratná a má samovoľný priebeh. Môže sa pri nej uplatniť nelokalizovaná adsorpcia, pri ktorej sú adsorbované molekuly schopné pohybu po povrchu adsorbentu, ako aj lokalizovaná adsorpcia, kedy premiestňovanie nie je možné. Lokalizovanú fyzikálnu adsorpciu vysvetľujeme tým, že povrch adsorbentu je zložený z rôznych atómov, iónov alebo molekúl, ktoré rôzne interagujú s molekulami adsorbovanej látky. Adsorbovaná látka sa snaží o obsadenie celého povrchu adsorbentu. Tomu však bráni protichodný jav desorpcia, vyvolaná snahou o rovnomerné rozdelenie látky v dôsledku tepelného pohybu. Každé koncentrácie adsorbátu v okolitom prostredí odpovedá ustálenie adsorpčnej rovnováhy, ktorá je analogická rovnováhe medzi kondenzáciou a vyparovaním. Adsorpcia je tým väčšia, čím väčšia je koncentrácia adsorbátu. Je tiež zrejmé, že čím vyššia je teplota, tým menšia je fyzikálna adsorpcia.

Chemická adsorpcia býva zvyčajne nevratná. Molekuly adsorbovanej látky sú viazané k adsorbentu pevnými chemickými väzbami - vzniká kovalentná väzba a molekuly sa nemôžu na povrchu premiestňovať. Chemickú adsorpciu spôsobujú chemické sily, preto desorpcia prebieha obtiažne. Takmer vždy desorbuje namiesto adsorbovanej látky iná látka. Desorpcia prakticky nevedie k úniku molekuly z povrchu adsorbentu, ale k rozloženiu zlúčeniny, ktorá sa pri chemisorpcii na povrchu vytvorila, [15;16;17].

## 5.1 Adsorpčná rovnováha

### 5.1.1 Freundlichova empirická rovnica [4]

$$c_s = k \cdot c_L^n$$

kde,  $c_s$  ... skutočné množstvo adsorbovanej látky [ $\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1}$ ,  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ]

$c_L$  ... rovnovážna koncentrácia v roztoku [ $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ,  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ]

$k$  ... konštanta Freundlichovej izotermy

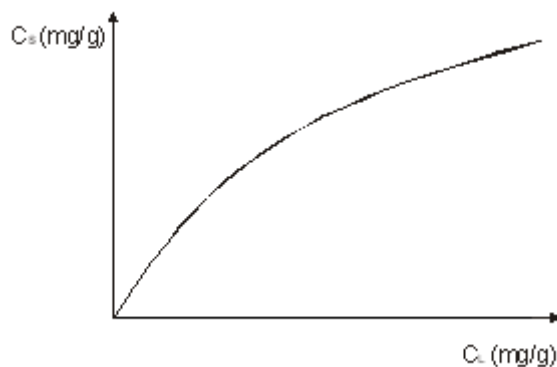
$n$  ... koeficient Freundlichovej izotermy

Freundlichovú izotermu môžeme linearizovať logaritmovaním, výsledkom je rovnica priamky [5]

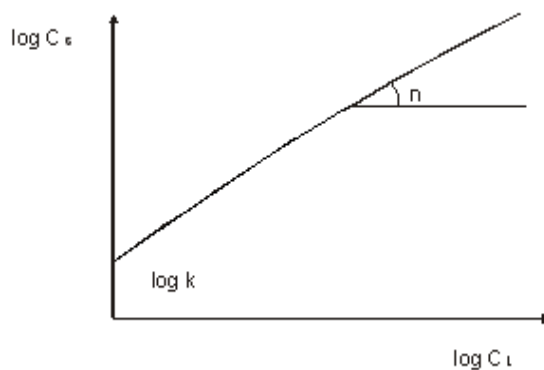
$$\log c_s = \log k + n \cdot \log c_L$$

kde,  $n$  ... smernica priamky

$\log k$  ... úsek vytínajúci priamka na ose y [18]



Obrázok 5-1 Freundlichova izoterma, [14]



Obrázok 5-2 Freundlichova izoterma linearizovaná

### 5.1.2 Všeobecná Langmuirova rovnica

$$c_s = \frac{S \cdot b \cdot c_L}{1 + b \cdot c_L} \quad [19]$$

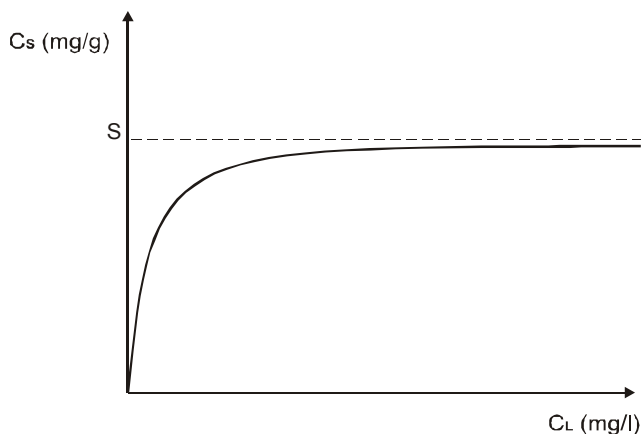
kde,  $c_s$  ... skutočné množstvo adsorbovanej látky [ $\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1}$ ,  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ]

$S$  ... množstvo, ktoré odpovedá monomolekulárnemu pokrytiu celého povrchu [ $\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1}$ ,  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ]

$c_L$  ... rovnovážna koncentrácia v roztoku [ $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ,  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ]

$b$  ... konštanta, [18]

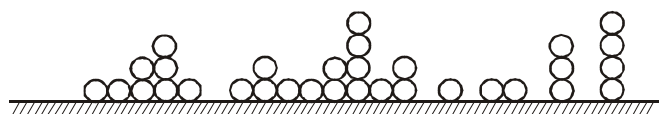
Langmuirova izoterma bola formulovaná na základe predpokladu, že adsorbovaná látka môže na tuhom povrchu vytvoriť len jednu vrstvu molekúl – monomolekulárna adsorpcia. Je preto zvlášť vhodná pri chemisorpcii ( fyzikálna adsorpcia je väčšinou viacvrstvová ), kedy sa neuplatňuje celý povrch, ale len jeho časť, tzv. adsorpčné centrá. To znamená, že každé adsorpčné centrum môže pútať len jednu molekulu adsorbentu a adsorbované molekuly sa vzájomne neovplyvňujú. Jeho postup je založený na princípe adsorpčnej rovnováhy. Adsorpčná rovnováha je daná stavom, kedy rýchlosť adsorpcie molekúl adsorbentu je rovnaká s rýchlosťou ich desorpcie, vtedy zostáva adsorbované množstvo stále, [14].



Obrázok 5-3 Langmuirova izoterma

### 5.1.3 Viacvrstvová adsorpcia B.E.T. (Brunauer, Emmet, Teller)

Je zovšeobecnením Langmuirových úvah. Na prvú naadsorbovanú vrstvu molekúl sa vytvárajú ďalšie vrstvy vplyvom medzimolekulových síl medzi už adsorbovanými molekulami a molekulami adsorbentu. Molekuly adsorbentu narážajúce na obsadenú časť povrchu sa neodrážajú, ale vytvárajú ďalšiu vrstvu. Avšak ďalšie vrstvy sú viazané silami už slabšími.



Obrázok 5-4 Viacvrstvová adsorpcia, [14]

### 5.1.4 Adsorpcia na rozhraní tuhá látka – roztok

Adsorpcia na rozhraní tuhá látka - roztok je obecně podobná adsorpcii na fázovom rozhraní medzi tuhú látkou a plynom. Značne ju však komplikuje prítomnosť tretej zložky - prostredia ( rozpúšťadla ), ktorého molekuly môžu tiež adsorbovať na povrchu adsorbentu a konkurovať tak molekulám adsorbovanej látky. Adsorpcia na fázovom rozhraní tuhá látka - roztok je taktiež vždy komplikovaná interakciou adsorbovaných molekúl s molekulami prostredia. Rozlišujú sa dva prípady adsorpcie z roztoku na tuhé látky: adsorpcia neelektrolytov, kedy sa adsorbujú molekuly a adsorpcia elektrolytov, kedy sa prednostne adsorbuje jeden z iónov elektrolytu, [19].

## 5.2 Mechanizmus adsorpcie tenzidov

Existuje veľa spôsobov, ktorými sa môžu molekuly povrchovo aktívnych látok adsorbovať z vodného roztoku na povrch pevnej látky. Vo všeobecnosti ide predovšetkým o adsorpciu jednoduchých iónov než micel.

Medzi najčastejšie spôsoby u adsorpcie PAL patria:

- **výmenná adsorpcia** - ióny, ktoré sa adsorbujú z roztoku sú nahradené iónmi, ktoré sa uvoľnia z adsorbentu do roztoku. Lepšie povedané dochádza k výmene iónov medzi elektrickou dvojvrstvou adsorbentu a tenzidom. Výmena

neprebíha iba medzi cudzorodými a naadsorbovanými iónmi, sú jej schopné i ióny vznikajúce disociáciou molekúl samotného adsorbentu.

- **iónová adsorpcia** - pri adsorpcii iónov sa významne uplatňuje charakter adsorbentu. K vrstve iónov adsorbovaných na povrchu sú priťahované opačne nabité ióny z roztoku a vzniká vrstva roztoku so zvýšenou koncentráciou protiiónov - na povrchu adsorbentu vytvoria tzv. elektrickú dvojvrstvu. Adsorbovateľnosť iónov je do značnej miery ovplyvňovaná ich polomerom. Maximálnu adsorpčnú schopnosť vykazujú medzi iónmi s rovnakou valenciou tie, ktoré majú najväčší polomer.
- **hydrofóbne interakcie** - ak pôsobia príťažlivé sily medzi hydrofóbnymi skupinami adsorpčných molekúl a molekulami prítomnými v roztoku.
- **adsorpcia polarizáciou  $\pi$  elektrónov** - nastane, ak PAL obsahuje na elektróny bohaté aromatické jadrá, pevný adsorbent má silno pozitívne miesta a navzájom sa priťahujú.
- **adsorpcia disperznými silami** - adsorpcia London van der Waalsovými silami medzi adsorbátom a adsorbentom vzrastá so vzrastom molekulovej hmotnosti adsorbentu, [15;17].

### 5.3 Kinetika adsorpcie tenzidov

Závisí najmä na druhu adsorbentu a na druhu tenzidu. Ak sú adsorbent a tenzid opačne nabité, priebeh adsorpcie je veľmi rýchly a čas potrebný na dosiahnutie rovnovážneho stavu veľmi krátky.

V roztokoch tenzidov možno pozorovať oneskorenú fázovú rovnováhu. Rozumieme tým jav, pri ktorom sa povrchové napätie s časom mení, spravidla najprv rýchlo klesá, neskôr klesá pomalšie a napokon sa už s časom nemení. Nazývame to *starnutie povrchu*. Táto zmena povrchového napätia s časom je spôsobená premiestňovaním povrchovo aktívnych častíc z vnútra roztoku do medzifázy. Tento dej prebieha často pomaly a k ustáleniu rovnováhy na fázovom rozhraní dochádza až po dlhšej dobe. Veľmi dôležitým činiteľom je aj silné elektrostatické odpudzovanie, ktoré bráni zhodne nabitým časticiam hromadiť sa na medzifáze. Týka sa to predovšetkým iónových micel nesúcich veľký elektrický náboj, [14;17].

## 6. SORPCIA

Pod pojem sorpcia vlákien zahrňujeme všetky chovania vlákien v interakcii s prostredím plynným alebo kvapalným, resp. viazanie plynu alebo kvapalín do jeho štruktúry. Dynamika tohto deju môže byť dvojité:

- Nevratná – ireverzibilná (chemisorpcia)
- Vratná – reversibilná (fyzikálna sorpcia)

*Nevratný* spôsob je charakterizovaný trvalou väzbou plynu či kvapaliny na molekulovú štruktúru reťazca – chemickú väzbu. Túto väzbu nemožno jednoduchými spôsobmi zrušiť a reťazec uviesť do pôvodného stavu.

*Vratný* spôsob oproti tomu je síce väzba do molekulovej štruktúry, ale je to väzba fyzikálna, energeticky chudšia, spravidla na bočnej skupine reťazca.

Naviac sú to väzby nestále, a dajú sa za podmienok zníženia koncentrácie plynu či vlhkosti opäť zrušiť – vzniká dej *reversibilný*.

Kvantita, rýchlosť, mechanizmus uskutočnenia sorpcie, ako aj druh väzieb medzi sorbenantami a sorbovanou látkou, sprievodné javy sorpcie i analýza sorpčných procesov závisia predovšetkým od podmienok, pri ktorých sa sorpcia uskutočňuje. Možnosť komplexného hodnotenia zákonitosti sorpcie pri zohľadnení všetkých opísaných podmienok v súčasnosti je prakticky nemožná. Preto podľa účelu, na ktorý sa má skúmanie sorpcie a sorpčných schopností vlákien využiť, možno uvedené otázky riešiť parciálne. Na základe získaných parciálnych poznatkov možno sorpčné vlastnosti využívať v rozličných procesoch textilnej technológie a pri praktickom použití vlákien.

### 6.1 Faktory podmieňujúce sorpciu

Základným predpokladom uskutočnenia sorpcie je existencia sorpčných centier vo vláknach, ktoré sú schopné viazať dané látky. Podstatou existencie centier sú atómy s dostatočne veľkou voľnou energiou, ktoré sa vyskytujú najčastejšie na vnútornom a vonkajšom povrchu vlákien. Veľmi často sorpčné centrá tvoria funkčné skupiny prítomné vo vláknach, schopné interakcie s rôznymi látkami.

Sorpcia povrchovo aktívnych látok, olejov alebo ich emulzií ako základných zložiek rôznych preparácií je dôležitá pri rozličných spôsoboch úpravy vlákien. Je zrejmé, že

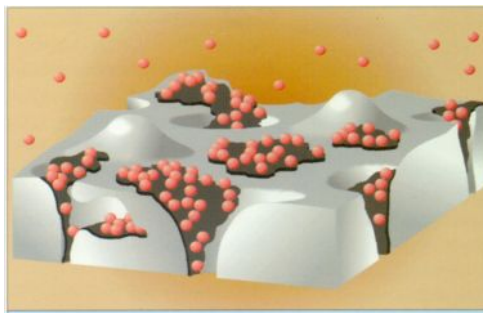
pri ich sorpcii, každá z uvedených látok má svoje špecifické zákonitosti, ale aj podstatné javy ich sorbovania do vlákna v mnohých prípadoch sú približne rovnaké.

Zložitosť mechanizmu sorpcie sa zakladá najmä na tom, že je veľa faktorov, ktoré môžu vplývať na proces sorpcie, a to so zreteľom na existenciu centier, ich dostupnosť, druh možných väzieb medzi sorbentom a sorbovanou látkou, vedľajšie reakcie, ktoré sa uskutočňujú pri sorpcii, ako aj podmienky, pri ktorých sa sorpcia uskutočňuje.

Opísané podmienky ako aj mechanizmus sorpcie sú dôležité pri sorpcii všetkých látok. Vzhľadom na existenciu sorpčných centier treba rátať s tým, že vo vláknach existuje veľký počet sorpčných centier. Rozlišujú sa svojimi koncentráciami, rýchlostnými konštantami reakcie s danou látkou a špecifickosťou reakcie s určitou látkou. Špecifickosť reakcie sorpčných centier sa zakladá na tom, že pre ľubovoľné dve látky existujú centrá, ktoré sorbujú len jednu látku, nesorbujú ani jednu, alebo sorbujú súčasne obidve látky.

## 6.2 Chemické princípy sorpčných dejov

Vlákno, resp. jeho molekulová štruktúra môže prijímať toľko vlhkosti, že jej množstvo je v rovnovážnom stave s vlhkosťou okolitého prostredia. Parciálne tlaky vodných pár oboch prostredí musia byť v rovnováhe. Pokiaľ pri relatívnej vlhkosti vzduchu  $\varphi = 100\%$  je relatívna vlhkosť vlákna  $r = 1\%$ , tieto vlákna nazývame *hydrofóbne* – neprijímajú vodu, nezmáčajú sa. Ostatné vlákna *hydrofilné*, ktorých je väčšina, sú také, že molekuly vody sú viazané vodíkovými mostíkmi na hydrofilné skupiny reťazca, ako je napr.: -OH, -NH, -COO, -CONH<sub>2</sub> atď. Znamená to, že afinita (schopnosť prijímať) týchto skupín voči vode je značná a záleží na priestorovej konfigurácii štruktúry, aby k naviazaniu vody mohlo dojsť. Napr. na glukózový zvyšok celulózy sa z ideálnych podmienok môžu naviazať až 3 molekuly vody, [20].



Obrázok 6-1 napr. reaktívny plyn sorbovaný na aktívnych miestach povrchu porézneho materiálu

## 7. POVRCHOVÉ NAPÄTIE

Povrchové napätie je derivácia voľnej entalpie  $G$  podľa plochy  $S$  pri konštantnej teplote  $T$  a konštantnému tlaku  $P$ .

$$\sigma = \left( \frac{\partial G}{\partial S} \right)_{T, P}$$

kde,  $\sigma$  ... povrchové napätie

$G$  .. voľná entalpia

$S$  ... plocha

$T$  ... konštantná teplota

$P$  ... konštantný tlak

Povrchové napätie je sila, ktorá je výsledkom vzájomnej interakcie príťažlivých síl molekúl alebo atómov, z ktorých sa skladá povrchová vrstva. Povrchové napätie je sila v povrchu kvapaliny pôsobiaca kolmo na jednotku dĺžky. Na element dĺžky  $dl$  v povrchu kvapaliny pôsobí z oboch strán kolmo element sily  $dF$ :

$$\sigma = dF / dl$$

kde,  $\sigma$  ... povrchové napätie

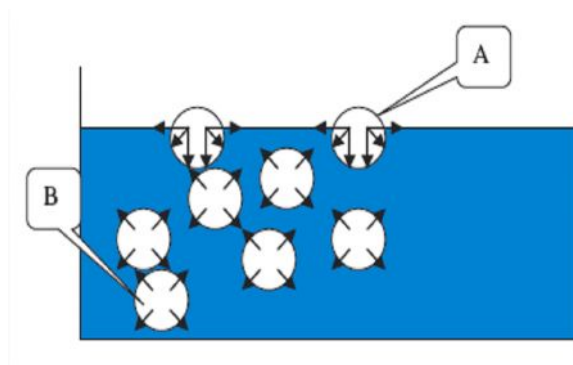
$dF$  ... sila

$dl$  ... plocha

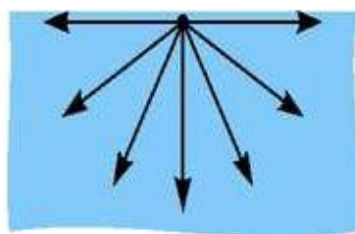
Jedotkou povrchového napätia je:  $[\sigma] = 1 \text{ N} / \text{m}$

Povrchové napätie a kapilárne javy sú vysvetlené vzájomným pôsobením príťažlivých kohezných síl molekúl. Povrch tekutiny sa snaží dosiahnuť stav s najmenšou energiou, a to je výsledkom vzájomnej interakcie príťažlivých síl molekúl alebo atómov, z ktorých sa skladá povrchová vrstva.





Obrázok 7-1 Schéma medzimolekulárnych síl pôsobiaca na molekulu v kvapaline a na jej povrchu, A – na povrchu, B – v objemovej, [21]



Obrázok 7-2 Schéma príťažlivých síl pôsobiacich na častice (molekulu alebo atóm) v povrchovej vrstve

Povrchové napätie vzniká vzájomným pôsobením príťažlivých síl medzi molekulami kvapaliny. Tieto sily sú silnejšie ako sily medzi dvoma časticami plynu alebo časticou kvapaliny a plynu.

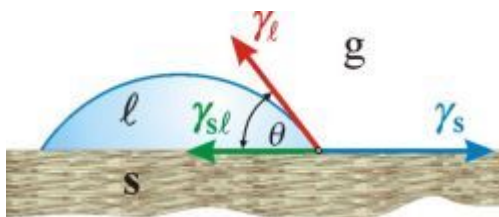
Medzi dvoma časticami pôsobia aj príťažlivé sily, ktoré sa prejavujú až pri väčšom priblížení týchto častíc. V rovnovážnom stave neexistujú žiadne výsledné sily, ktoré pôsobia smerom do vnútra kvapaliny. Keby sa taká sila vyskytla, častica by bola urýchľovaná do vnútra kvapaliny, skôr ako by sa prejavili odpudivé sily. Z toho vyplýva, že stredná vzdialenosť povrchových molekúl je väčšia a tým vzniká aj odlišná hustota v porovnaní s vnútrom kvapaliny. Z dôvodu neustáleho pohybu častíc v kvapaline je stredne vzájomný rovnovážny odstup na povrchu väčší a hustota je menšia. Zmenšenie povrchu vedie skôr k zisku energie a ten je dôvodom pre vznik povrchového napätia.

Je výsledkom vzájomnej interakcie príťažlivých síl molekúl alebo atómov, z ktorých sa skladá povrchová vrstva. Ak pozorujeme povrchovú vstvu resp. rozhranie

ako nejaký rez, potom sa dá povrchové napätie chápať ako energia nenasýtených väzieb na jednotku plochy (kohézie), [22].

## 8. KONTAKTNÝ UHOL

Definujeme ako uhol, ktorý zvierá dotyčnica k povrchu kvapky, vedená v bode styku kvapky s rozhraním – hlavná charakteristika tvaru kvapky kvapaliny umiestnenej na povrchu nerozypustnej tuhej látky.



Obrázok 8-1 Kvapka kvapaliny na tvrdom povrchu

Vzťah medzi uhlom zmáčania  $\theta$  a jednotlivými medzifázovými energiami je daný Youngovou rovnicou

$$\gamma_l \cdot \cos \theta = \gamma_s - \gamma_{sl}$$

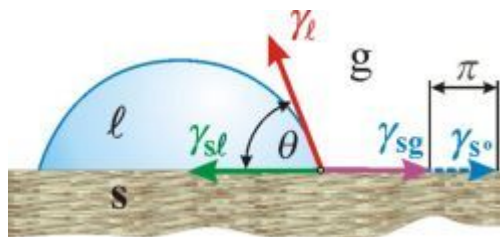
kde,  $\gamma_l$  a  $\gamma_s$  sú povrchové energie kvapaliny, poprípade tuhej látky,  $\gamma_{sl}$  – medzifázová energia tuhá látka – kvapalina. Uhol zmáčania je jednou z mála priamo merateľných vlastností fázového rozhrania pevná látka/kvapalina/plyn.

Hodnoty uhlu zmáčania môžu byť ovplyvnené:

- *adsorpciou* látok prítomných v plynnej fáze na povrchu tuhej látky (obrázok 8-1), ktorá vedie k zníženiu povrchovej energie tuhej látky z hodnoty  $\gamma_s^o$  (povrchová energia čistej tuhej látky) na hodnotu  $\gamma_{sg}$  (povrchová energia tuhej látky v rovnováhe s parou kvapaliny tvoriacou kvapku, poprípade ďalších látok v rovnováhe s parou kvapaliny tvoriacich kvapku, poprípade ďalších látok prítomných v plynnej fáze, napr. vody), rozdiel  $\gamma_{s^o} - \gamma_{sg} = \pi$  je *povrchový tlak*.

Youngova rovnica má potom tvar

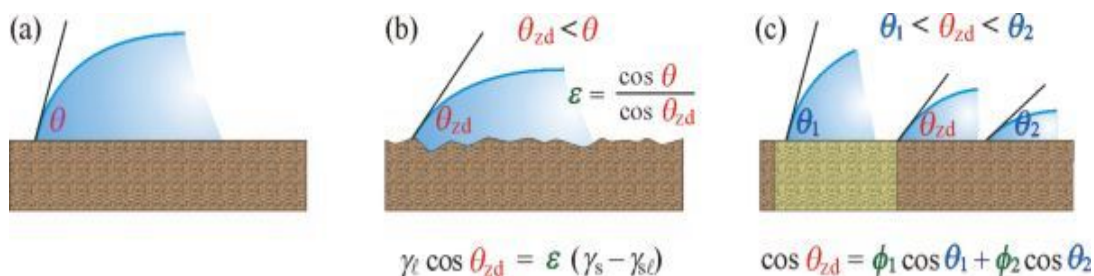
$$\gamma_l \cdot \cos \theta = \gamma_{s^o} - \pi - \gamma_{sl}$$



Obrázok 8-2 Vplyv adsorpcie na hodnotu uhlu zmáčania

Je zrejmé, že hodnota  $\theta$  sa bude meniť v závislosti na hodnotách  $\pi$ . Tento vplyv sa významne uplatňuje u tuhých látkach o vysokej povrchovej energii (napr. sklo, kremeň, kovy, kovové oxidy, anorganické soli), ktorá sa adsorpciou znižuje.

- Rôznymi dejmi, k ním môže dochádzať medzi tuhou látkou a kvapalinou (chemická reakcia, rozpustenie tuhej látky kvapalinou, poprípade *bobtnanie* tuhej látky). Pri týchto dejoch sa mení  $\gamma_s$  aj  $\gamma_{sl}$  a vtedy aj pozorovaný uhol zmáčania s časom.
- Hysteréziu uhlu zmáčania
- Drsnosťou a nehomogenitou povrchu, ktorá sa môže vyskytovať aj u pripravených reálnych povrchov (každá ryha na povrchu môže pôsobiť ako kapilára, v nej kvapalina stúpa, ak je  $\theta$  ostrý, alebo klesá, ak je  $\theta$  tupý. Drsný povrch je vtedy lepšie zmáčaný dobre zmáčajúcimi kvapalinami ako povrch hladký, zatiaľ čo u zle zmáčajúcich kvapalín je to naopak). Obidva tieto vplyvy sa prejavujú vo veľkosti uhlu zmáčania. V Youngovej rovnici sú uvážené formou experimentálne zistených koeficientov (koeficient drsnosti  $\varepsilon$  a zlomkov  $\phi_i$ , ktoré vyjadrujú podiel chemicky odlišných častí povrchu), [23].



Obrázok 8-3 Kontaktný uhol dobre zmáčajúcej kvapaliny (a) na čistom hladkom povrchu, (b) na drsnom povrchu, (c) na chemicky heterogénnom povrchu ( $\phi_1$  poprípade  $\phi_2$  sú podiely častí povrchu, ktoré sa líšia chemickým zložením, na nich má uvažovaná kvapalina uhol zmáčania  $\theta_1$ , poprípade  $\theta_2$ )

## 8.1 Meranie uhlu zmáčania

Uhol zmáčania je jednou z mála priamo merateľných vlastností fázového rozhrania pevná látka/kvapalina/plyn. Môže byť stanovený *priamym goniometrickým meraním* alebo *nepriamými*, tenziometrickými metódami, poprípade metódami založenými na geometrickej analýze tvaru menisku, [24].

## 9. EXPERIMENT

### 9.1 Úloha experimentu

V prvej časti experimentu sme sa zaoberali stanovením povrchového napätia kvapalín (roztokov tensidov) v závislosti na ich koncentrácií. Meranie sme uskutočnili doštičkovou metódou na mikrotenzometri Krüss K12. Následne pokračovalo meranie povrchového napätia kvapalín (roztokov tensidov) o daných koncentráciách v závislosti na čase pri sorpcii na predurčený polymérny materiál (PP, PES).

Druhá časť experimentu bola zameraná na meranie kontaktných uhlov kvapiek roztokov tensidov na predúpravených polypropylénových a polyesterových fóliách, za účelom zistiť zmáčavosť kvapiek roztokov tensidov na fóliách pri určitých koncentráciách. A zistiť vhodný pomer prípravy roztokov tensidov, pri ktorom sa kvapka nebude roztekať. Inými slovami povedané kedy sa povrchové napätie roztoku tensidu najviac priblíži k povrchovému napätiu polypropylénovej a polyesterovej fólie.

#### 9.1.1 Textílie

Tabuľka č.9-1 Použitý polymérny materiál (textília)

|  | <b>PP</b> | <b>PES</b> |
|--|-----------|------------|
| <b>Plošná hmotnosť textílie [g.m<sup>-2</sup>]</b> | 180       | 177        |
| <b>Dostava osnovy [počet nití/100mm]</b>           | 250       | 220        |
| <b>Dostava útku [počet nití/100mm]</b>             | 170       | 160        |
| <b>Väzba textílie</b>                              | plátno    | plátno     |
| <b>Jemnosť vlákien v tkanine [tex]</b>             | 0,250     | 0,154      |

Hodnoty príslušných meraní PP a PES materiálu sú uvedené v Prílohe 1.

#### IČ spektrum

Ide o vyhodnotenie spektier molekúl, ktoré absorbovali žiarenie o vlnových dĺžkach 800nm – 100mm, teda o vlnočetu 12000 – 10cm<sup>-1</sup>. Pri absorpcii dochádza k zmene vibračných a rotačných stavov molekúl. IČ spektrum žiarenia rozdeľujeme:

- 12500 – 4000cm<sup>-1</sup>: blízka oblasť NIR
- 4000 – 250 cm<sup>-1</sup>: stredná oblasť MIR
  - a) 4000 – 1500cm<sup>-1</sup>: oblasť charakteristických vibrácií
  - b) 1500 – 250cm<sup>-1</sup>: oblasť otisku palca
- 250 – 5 cm<sup>-1</sup>: vzdialená oblasť a mikrovlnná FIR, rotačné spektrum

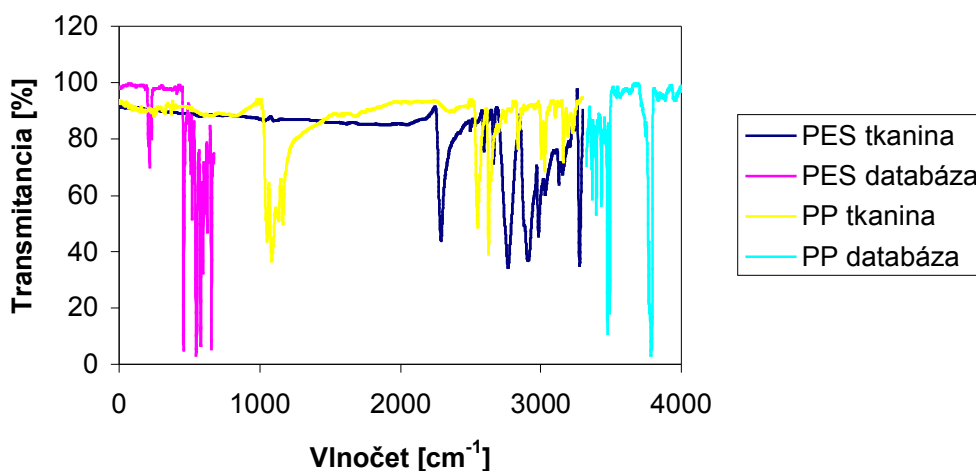
### Teoretická podstata IČ spektier

- V molekule pri bežných teplotách vibrujú jednotlivé atómy, resp. časti molekúl. Týmto vibráciám odpovedá určitý vibračný stav molekuly, ktorý je možné absorpciou žiarenia zvýšiť – prechod na vyššiu vibračnú hladinu. Rozdiely medzi jednotlivými hladinami nie sú rovnaké, ale postupne sa zmenšujú.
- Možné sú prechody medzi všetkými hladinami – preto je v spektre viac pásov prisluchajúcich jednej vibrácii. Najpravdepodobnejší je však prechod z hladiny základnej na prvú vyššiu. Ostatné prechody na vyššiu hladinu majú ďaleko nižšiu pravdepodobnosť – OVERTONY.

### Kvalitatívna analýza

- hlavné použitie IČ spektrometrie
- štruktúrna analýza – podľa hodnôt vlnových pásov – každá funkčná skupina alebo atómové zoskupenie má charakteristické vibrácie (najvyužívanejšia je časť spektra od 4000 do 1500cm<sup>-1</sup>)
- k štruktúrnej analýze musíme poznať sumárny vzorec, látka musí byť individuum, kombinácie s ďalšími spektrálnymi technikami, často len približne zloženie
- identifikácia látok – porovnávanie s atlasmi spektier, len individuum, [25].

### IČ spektrum PP a PES tkaniny v porovnaní s PP a PES databázou spektrofotometru



Graf č.1 Spektrum dodanej vzorky PP a PES tkaniny v porovnaní s PP a PES databázou

Zo spektier je vidieť, že dodané vzorky sú čisté, bez prímiesí. Meranie sa prevádzalo pomocou reflexnej techniky na ATR nástavcoch s kryštálom zo ZnSe. Rovnaké meranie bolo prevedené aj pri IČ Spektre PP a PES fólie v porovnaní s PP a PES databázou spektrofotometru.

### **Popis predúpravy polypropylénovej a polyesterovej textílie resp. tkaniny používanej pri meraní povrchového napätia daných tenzidov**

Vzorka polypropylénovej a polyesterovej tkaniny o rozmeroch 29x12 a danej hmotnosti sa dôkladne vyprala v zmáčacom, čistiacom, pracom a vyváraacom prípravku Duopon 40. Pranie sa prevádzalo kvôli odstráneniu všetkých nečistôt, nachádzajúcich sa na tkanine. Napr. rôzne čiastočky prachu, zbytky nečistôt z predchádzajúcich úprav, atď. Pranie prebiehalo pri  $t = 70^{\circ}\text{C}$  po dobu 45minút. Množstvo Duoponu 40, ktoré sa použilo na vypranie vzoriek tkaniny polypropylénu a polyesteru bolo 2g/l. Po praní nasledovalo prepláchnutie studenou vodou, až kým sa prípravok Duopon dôkladne neodstránil zo všetkých tkanín. Po vysušení sa vyprané vzorky extrahovali chloroformom v piatich cykloch po sebe. Extrakcia prebiehala v Soxletovom prístroji. Takto upravené vzorky sa použili v ďalšej časti experimentu.

#### **Duopon 40**

- zmáčací, čistiaci, prací a vyváraací prípravok
- zloženie: Alkypolyglykolétersulfát sodný s organickými rozpúšťadlami
- výrobca: Spolek pro chemickou a hutní výrobu, ÚSTÍ n. L.
- vlastnosti:
  - žltá až žltohnedá stredne viskózna kvapalina
  - má anionaktívny charakter

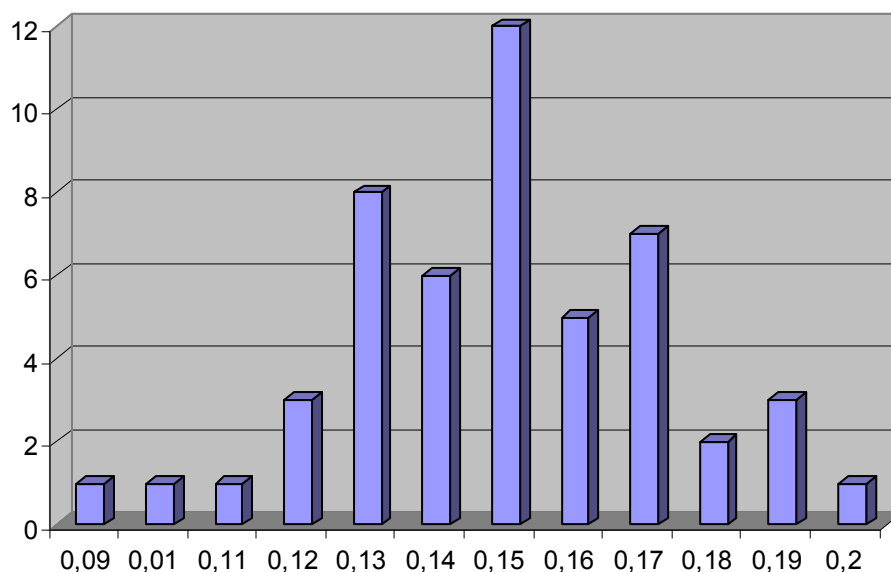
### Výpočet jemnosti vlákien v tkanine polypropylénových a polyesterových vzoriek použitých na experiment

Pre výpočet jemnosti vlákien v tkanine polypropylénu (PP) a polyesteru (PES) sa použil prístroj Lucia, kde sa pripravil preparát a pod mikroskopom zmeral 50-krát priemer vlákien polypropylénu a polyesteru.

Preparát sa pripravil za pomoci podložného sklíčka, na ktoré sa položila vzorka vlákna a kvapka kvapka glycerolu a prikryla krycím sklíčkom.

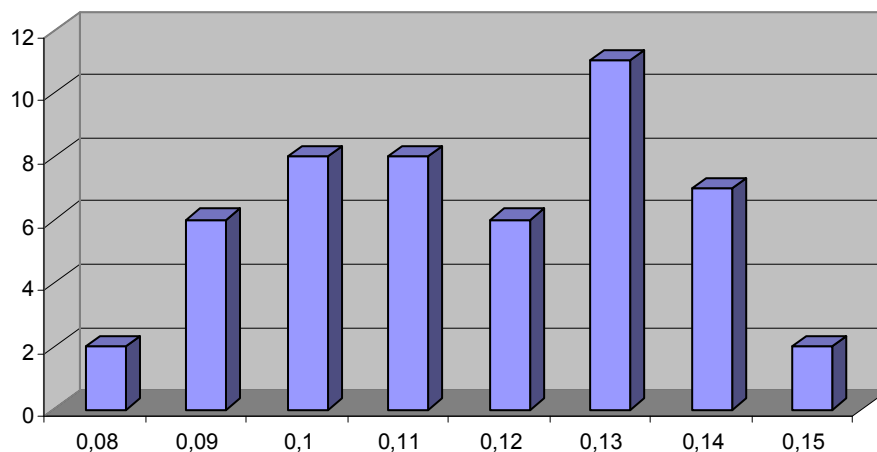
Podľa daného vzorca sa z každej jednej hodnoty priemeru vypočítala a nakoniec spriemerovala jemnosť.

$$T = \frac{\pi}{4} * d^2 * \rho * 10^3 \quad [\text{tex}]$$



Graf č.2 Závislosť priemeru vlákien polypropylénu na počte meraní





Graf č.3 Závislosť priemeru vlákien polyesteru na počte meraní

### 9.1.2 Fólie

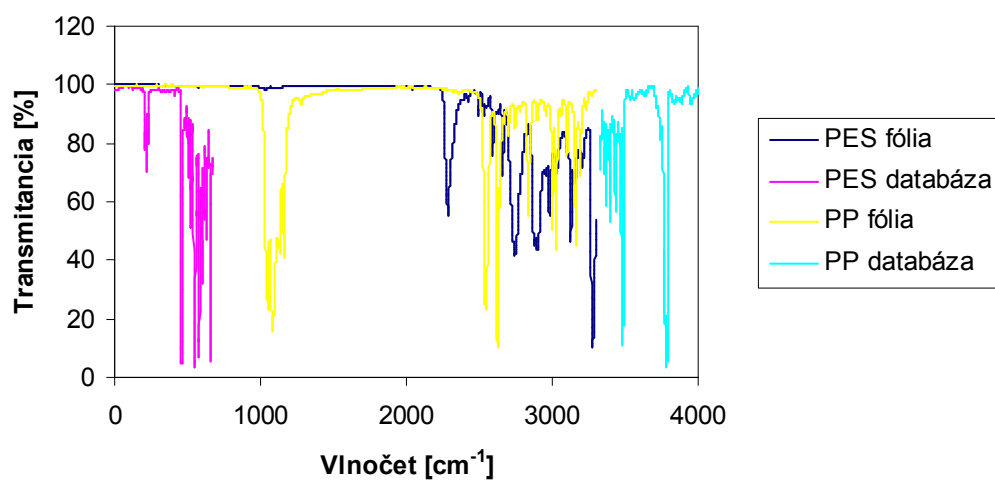
Popis fólií:

- polypropylénová fólia – Tatrafan KX
- polyesterová fólia – PET – Sarafil TFCO

Tabuľka č.9-2 Použitý polymérny materiál (fólia)

|                 | PP                   | PES                  |
|-----------------|----------------------|----------------------|
| Plošná hmotnosť | 27,3g/m <sup>2</sup> | 16,8g/m <sup>2</sup> |
| Hrúbka fólie    | 30μm                 | 12μm                 |

### IČ spektrum PP a PES fólie v porovnaní s PP a PES databázou spektrofotometru



Graf č.4 Spektrum dodanej vzorky PP a PES fólie v porovnaní s PP a PES databázou

**Popis predúprav polypropylénovej a polyesterovej fólie pre ich použitie pri meraní kontaktných uhlov roztokov tensidov o daných koncentráciách pomocou prístroja Lucia**

Vzorka polypropylénovej a polyesterovej fólie o rozmeroch 5x2cm sa očistila chloroformom pred použitím na meranie kontaktného uhla kvapiek roztokov tensidov o daných koncentráciách pomocou prístroja Lucia. Z očistených vzoriek chloroformom boli odstránené všetky nečistoty, ktoré sa na nich nachádzali. Vzorky fólií boli získané z Podniku Chemosvit, ktorý sa nachádza v meste Svit na Slovensku.

**Použité tensidy**

- SLOVASOL 253
- SLOVASOL 253 10/9
- SLOVASOL 255
- SLOVASOL 257

**SLOVASOL 253**

Chemické zloženie: **Oxyetylovaný primárny mastný alkohol C<sub>12</sub>-C<sub>15</sub>**  
 Chemický vzorec: **C<sub>12/15</sub>H<sub>25/31</sub>-O-(CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-O)<sub>3</sub>-H**  
 Priemerný stupeň etoxylácie: **3 móly EO**

Tabuľka č.9-3 SLOVASOL 253

| P.č. | Parameter          | Jednotka          | Hodnota        | Analytická metóda |
|------|--------------------|-------------------|----------------|-------------------|
| 1.   | Vzhľad pri 50°C    | -                 | číra kvapalina | vizuálne          |
| 2.   | Farba pri 50°C     | APHA              | max. 30        | STN 65 0340       |
| 3.   | Teplota zákalu     | °C                | 52-55          | STN EN 1890       |
| 4.   | Voda               | %hmot., %wt       | max. 0,1       | STN 65 0330       |
| 5.   | Hydroxylové číslo  | mg KOH/g          | 163-171        | STN 65 0348       |
| 6.   | pH 1% vodný roztok | -                 | 5,5-7,5        | STN EN 1262       |
| 7.   | Hustota pri 50°C   | kg/m <sup>3</sup> | 896-906        | STN 65 0342       |
| 8.   | Voľné PEG          | %hmot., %wt       | max. 1         | STN EN 12139      |
| 9.   | Voľný EO           | mg/kg             | max. 1         | GC                |
| 10.  | Popol              | %hmot., %wt       | max. 0,2       | výpočtom          |

Trvale sledované parametre: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

**SLOVASOL 253 10/9**Chemické zloženie: **Zmes oxyetylovaných primárny mastných alkoholov**

Tabuľka č.9-4 SLOVASOL 253 10/9

| P.č. | Parameter          | Jednotka          | Hodnota         | Analytická metóda |
|------|--------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| 1.   | Vzhľad pri 25°C    | -                 | jasná kvapalina | vizuálne          |
| 2.   | Farba pri 25°C     | APHA              | max. 30         | STN 65 0340       |
| 3.   | Teplota zákalu     | °C                | 71-75           | STN EN 1890       |
| 4.   | Voda               | %hmot., %wt       | max. 10         | STN 65 0330       |
| 5.   | pH 5% vodný roztok | -                 | 5,5-7,5         | STN EN 1262       |
| 7.   | Hustota pri 25°C   | kg/m <sup>3</sup> | 930-996         | STN 65 0342       |

Trvale sledované parametre: 1, 2, 3, 4, 5

**SLOVASOL 255**Chemické zloženie: **Oxyetylovaný primárny mastný alkohol C<sub>12</sub>-C<sub>15</sub>**Chemický vzorec: **C<sub>12/15</sub>H<sub>25/31</sub>-O-(CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-O)<sub>5</sub>-H**Priemerný stupeň etoxylácie: **5 mólov EO**

Tabuľka č.9-5 SLOVASOL 255

| P.č. | Parameter          | Jednotka          | Hodnota            | Analytická metóda |
|------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| 1.   | Vzhľad pri 25°C    | -                 | zakalená kvapalina | vizuálne          |
| 2.   | Farba pri 50°C     | APHA              | max. 30            | STN 65 0340       |
| 3.   | Teplota zákalu     | °C                | 67-69              | STN EN 1890       |
| 4.   | Voda               | %hmot., %wt       | max. 0,3           | STN 65 0330       |
| 5.   | Hydroxylové číslo  | mg KOH/g          | 128-134            | STN 65 0348       |
| 6.   | pH 1% vodný roztok | -                 | 5,0-7,0            | STN EN 1262       |
| 7.   | Hustota pri 50°C   | kg/m <sup>3</sup> | 953-963            | STN 65 0342       |
| 8.   | Voľné PEG          | %hmot., %wt       | max. 2             | STN EN 12139      |
| 9.   | Voľný EO           | mg/kg             | max. 1             | GC                |
| 10.  | Popol              | %hmot., %wt       | max. 0,2           | výpočtom          |

Trvale sledované parametre: 1, 2, 3, 4, 5, 6

**SLOVASOL 257**Chemické zloženie: **Oxyetylovaný primárny mastný alkohol C<sub>12</sub>-C<sub>15</sub>**Chemický vzorec: **C<sub>12/15</sub>H<sub>25/31</sub>-O-(CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-O)<sub>7</sub>-H**Priemerný stupeň etoxylácie: **7 mólov EO**

Tabuľka č.9-6 SLOVASOL 257

| P.č. | Parameter          | Jednotka          | Hodnota        | Analytická metóda |
|------|--------------------|-------------------|----------------|-------------------|
| 1.   | Vzhľad pri 50°C    | -                 | číra kvapalina | vizuálne          |
| 2.   | Farba pri 50°C     | APHA              | max. 30        | STN 65 0340       |
| 3.   | Teplota zákalu     | °C                | 75-78          | STN EN 1890       |
| 4.   | Voda               | %hmot., %wt       | max. 0,3       | STN 65 0330       |
| 5.   | Hydroxylové číslo  | mg KOH/g          | 105-113        | STN 65 0348       |
| 6.   | pH 1% vodný roztok | -                 | 5,5-7,5        | STN EN 1262       |
| 7.   | Hustota pri 50°C   | kg/m <sup>3</sup> | 896-906        | STN 65 0342       |
| 8.   | Voľné PEG          | %hmot., %wt       | max. 2         | STN EN 12139      |
| 9.   | Voľný EO           | mg/kg             | max. 1         | GC                |
| 10.  | Popol              | %hmot., %wt       | max. 0,2       | výpočtom          |

Trvale sledované parametre: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Výrobca : SLOVECA, Sasol Slovakia, spol s.r.o., [26].

**Postupy prípravy roztokov povrchovo aktívnych látok (PAL)**

Príprava roztokov povrchovo aktívnych látok v tomto prípade neionogénnych tenzidov SLOVASOL 253, SLOVASOL 253 10/9, SLOVASOL 255, SLOVASOL 257 pozostávala z presného odváženia jednotlivých tenzidov na analytických váhach a následného zriedenia do 1l pomocou destilovanej vody. Po navážení sa vzorka tenzidu pomocou stričky zostriekala z hodinového sklíčka do kadičky a potom pomocou lievika do odmernej banky objemu 1l. Koncentrácie roztokov, s ktorými sa pracovalo, boli: 0,001g/l; 0,002g/l; 0,003g/l; 0,005g/l; 0,01g/l; 0,03g/l; 0,05g/l; 0,1g/l. Teda odvážením 0,001g tenzidu 253 a následným zriedením do 1l destilovanou vodou vznikol roztok SLOVASOL 253 o koncentracii 0,001g/l. Týmto postupom sa pripravilo 8 ďalších roztokov o ôsmich rôznych koncentráciách toho daného tenzidu. Meranie sa absolvovalo pre každý jeden tenzid.

V ďalšej časti pokračovalo meranie povrchového napätia jednotlivých pripravených roztokov tenzidov o pripravených koncentráciách pomocou prístroja na meranie povrchového napätia kvapalín – mikrotenzometra Krüss.

**Použité prístroje****MIKROTEENZOMETER KRÜSS**

Cieľom úlohy je stanoviť povrchové napätie kvapalín doštičkovou metódou na tenzometri Krüss K12.

**Postup merania:**

- a) Do sklenenej kadičky o objeme 100ml sa naliala testovacia kvapalina a umiestnila sa do termostatu prístroja.
- b) Meracia platínová doštička sa vsunula medzi čeluste váhového systému prístroja.  
Čeluste sú umiestnené vo vnútri v hornej časti tenzometru.
- c) Potom sa odaretoval váhový systém tenzometru otáčaním čierneho gombíka jemne až kým sa na displeji neobjavili nuly.
- d) Pokračovalo zdvihnutie termostatu, v ktorom bola umiestnená kadička s testovacou kvapalinou a to otáčaním veľkého čierneho gombíka. Poloha termostatu mala byť taká, aby sa hladina kvapaliny nachádzala tesne pod okrajom platínovej doštičky.
- e) Zapnutie meracej jednotky a počítača, ktorý uchováva dáta.
- f) Nastavenie počítača pre meranie (PLATE METHOD) a zároveň nastavenie parametrov. Parametre prístroja: DOŠTIČKA: štandardná platínová  
DĹŽKA: 19,900mm  
ŠÍRKA: 0,200mm
- g) Po nastavení parametrov začína vlastné meranie kliknutím na tlačítko ENTER.

**Priebeh merania:**

Na obrazovke sa objavil merací diagram (povrchové napätie v závislosti na čase). Výpočet povrchového napätia testovacej kvapaliny je automaticky prevádzaný na základe Wilhelmyho metódy tj. výsledky sa zobrazili v okienku. Pre každý druh kvapaliny sa prevádzali dve merania. Po skončení každého jedného merania sa kadička a platínová doštička musela dôkladne vyčistiť. Čistenie kadičky prebiehalo dôkladným vyplachovaním testovacou kvapalinou a čistenie platínovej doštičky prebiehalo opláchnutím vodou z vodovodu, následným opláchnutím pomocou acetónu a destilovanej vody. Doštička sa nechala po dobu 2minút vyvariť v destilovanej vode a nakoniec sa vyžíhala nad plameňom kahana. Doštička a kadička musí byť takto vyčistená pre každé meranie.

## LUCIA

Program LUCIA bol vyvinutý pre zriadenie a archiváciu obrazu, interaktívne a automatizované merania a archiváciu rozsiahlych obrazových sekvencií.

LUCIA G/F je farebný obrazovo analytický program vyvinutý najmä pre spracovanie obrazov nezávisle v červenej, zelenej a modrej zložke. Ponúka multispektrálny prístup k farebným obrazom – oddelené spracovanie červenej, zelenej a modrej zložky a následnú kombináciu do RGB obrazu. Meranie pomocou tohto prístroja je pokročilou a komplexnou technikou obrazovej analýzy. Začína kalibráciou systému Lucia, nasleduje kvantitatívne vyhodnotenie obrazu a končí vyhodnotením a prezentáciou dát. Kalibrácia má kľúčový význam pre meranie, priraduje objektom ich reálny rozmer. Kalibrácia je jedným z dôležitých parametrov systému Lucia pred meraním a musí byť preto prevedená s patričnou pozornosťou.

Pred meraním je nutné sa rozhodnúť, či nás zaujíma textúra (pole) alebo objekt. Systém Lucia rozlišuje dva druhy meraní:

- Meranie vzťahované k texture (texturálne meranie)
- Meranie vzťahované k objektu (objektové meranie)

Objektové meranie prevádza systém Lucia príkazom zmerať objekty v poli v menu merania. Výsledkom sú hodnoty veličín (príznakov) pre jednotlivé objekty.

Texturálne meranie prevádza systém Lucia príkazom zmerať pole v menu merania. Výsledkom sú hodnoty veličín (príznakov) v jednotlivých poliach (textúrach). Ďalším dôležitým parametrom je merací rámček. Má odlišný význam pre texturálne meranie. Častice, ktoré sa dotýkajú ľavého alebo dolného okraja sú pri objektovom meraní vylúčené zo štatistiky. Naopak častice, ktoré sa dotýkajú pravého a horného okraja sú do štatistiky zahrnuté. V prípade texturálneho merania definuje merací rámček pravouhlú oblasť, na ktorú sa vzťahujú obmedzenia pre meranie príznakov. Rozmery meracieho rámčeka sa definujú príkazom Merací rámček v menu merania.

Obrazy zahrnuté v meraní:

Farebný obraz / Binárny obraz / Obraz masky

Farebný obraz sa používa napr. pre meranie intenzity alebo pre meranie typického odtieňu (HVE) farebného obrazu. Binárny obraz sa používa pre meranie tvaru a veľkosti (plochy, obvodu a zlomku povrchu). Obraz masky sa používa, keď sa chce meranie zúžiť na oblasť, o ktorej sa niekedy hovorí ako o oblasti merania (oblasti

záujmu). Oblasť merania je definovaná ako priesečník meracieho rámčeka a obrazu masky. Program Lucia počíta základné štatistické charakteristiky – strednú hodnotu, štandardnú odchýlku a rozloženie všetkých meraných príznakov. Podporuje selektívnu definíciu merania, čo znamená, že užívateľ môže upraviť obecné meranie výberom príznakov, ktoré ho zaujímajú. Ďalej umožňuje v reálnom čase interaktívne pozorovanie dát: to znamená, že užívateľ definuje pole, v ktorom bude štatistika počítaná. Systém Lucia ponúka dva spôsoby prezentácie nameraných hodnôt – priamu, bezprostredne grafickú prezentáciu distribúcie príznakov v prostredí Lucia alebo prostredníctvom schránky pre grafickú prezentáciu dát.

Parametre prístroja:

Rozlíšenie digitalizačných kariet:

800x600pixelov pre prácu s analógovou TV kamerou a zobrazení živých obrazov

1280x1024pixelov pre prácu s digitálnymi kamerami (Lucia DI)

DI znamená digitálny prístup.

Farebné rozlíšenie: musí byť 24 alebo 32bit/pixel v závislosti na type zobrazovanej karty.

## **9.2 Prevedené pokusy**

### **9.2.1 Experiment č.1**

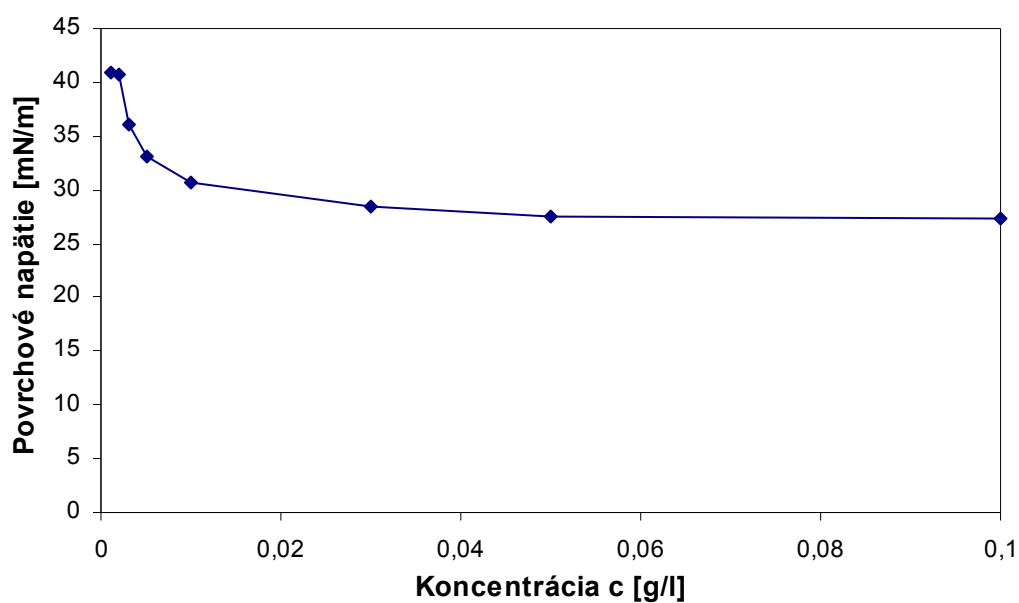
V prvej časti experimentu sa meralo povrchové napätie pripravených roztokov tenzidov v závislosti na koncentráciach. Meranie bolo prevádzané na mikrotenzometri Krüss K12.

**Vyhodnotenie výsledkov merania povrchového napätia roztokov tenzidov v závislosti na ich koncentráciach**

**SLOVASOL 253**

Tabuľka č.9-7 Povrchové napätie SLOVASOLU 253 v závislosti na koncentráciach

| Koncentrácia $c$ [g/l] | Povrchové napätie $\sigma$ [mN/m] |            |                     |
|------------------------|-----------------------------------|------------|---------------------|
|                        | 1. meranie                        | 2. meranie | Aritmetický priemer |
| 0,001                  | 40,81                             | 40,99      | 40,90               |
| 0,002                  | 40,08                             | 41,23      | 40,66               |
| 0,003                  | 35,89                             | 36,39      | 36,140              |
| 0,005                  | 33,07                             | 33,24      | 33,155              |
| 0,010                  | 30,79                             | 30,55      | 30,670              |
| 0,030                  | 28,30                             | 28,61      | 28,455              |
| 0,050                  | 27,59                             | 27,58      | 27,585              |
| 0,100                  | 27,49                             | 27,12      | 27,305              |



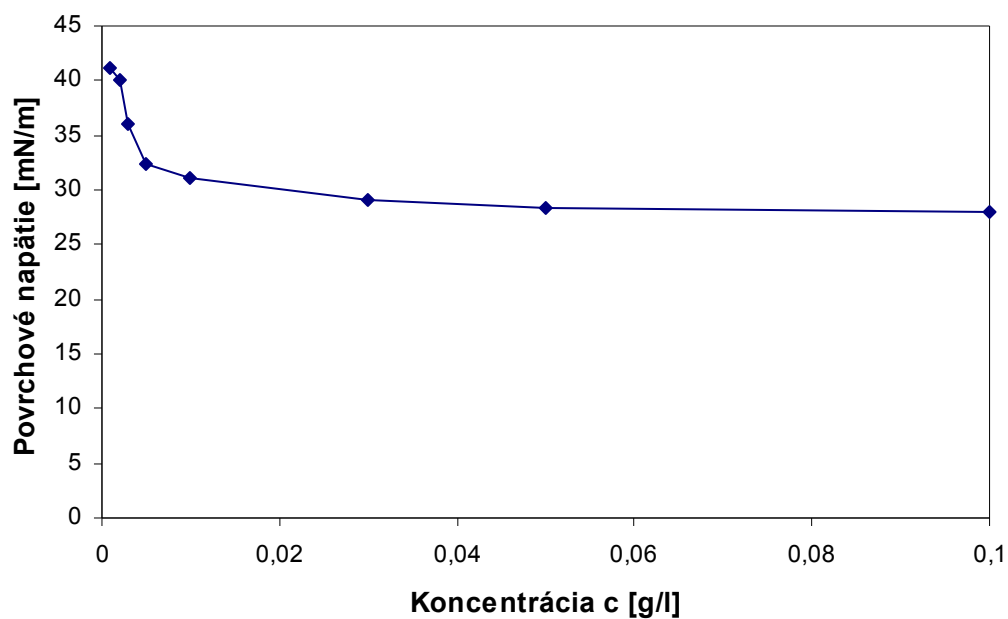
Graf č.5 Chovanie povrchového napätia tenzidu SLOVASOL 253 v závislosti na jeho koncentráciach



## SLOVASOL 253 10/9

Tabuľka č.9-8 Povrchové napätie SLOVASOLU 253 10/9 v závislosti na koncentráciách

| Koncentrácia $c$ [g/l] | Povrchové napätie $\sigma$ [mN/m] |            |                     |
|------------------------|-----------------------------------|------------|---------------------|
|                        | 1. meranie                        | 2. meranie | Aritmetický priemer |
| 0,001                  | 40,84                             | 41,36      | 41,100              |
| 0,002                  | 40,15                             | 39,92      | 40,035              |
| 0,003                  | 35,64                             | 36,29      | 35,965              |
| 0,005                  | 31,57                             | 33,22      | 32,395              |
| 0,010                  | 31,78                             | 30,57      | 31,175              |
| 0,030                  | 29,40                             | 28,93      | 29,165              |
| 0,050                  | 28,44                             | 28,17      | 28,305              |
| 0,100                  | 27,86                             | 28,01      | 27,935              |

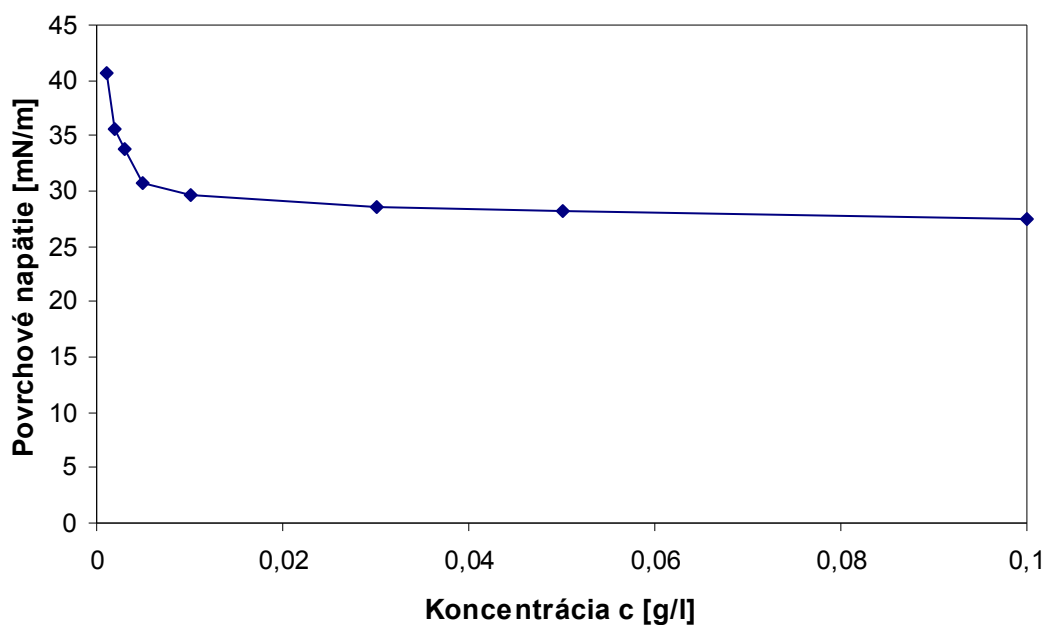


Graf č.6 Chovanie povrchového napätia tenzidu SLOVASOL 253 10/9 v závislosti na jeho koncentráciách

## SLOVASOL 255

Tabuľka č.9-9 Povrchové napätie SLOVASOLU 255 v závislosti na koncentráciách

| Koncentrácia $c$ [g/l] | Povrchové napätie $\sigma$ [mN/m] |            |                     |
|------------------------|-----------------------------------|------------|---------------------|
|                        | 1. meranie                        | 2. meranie | Aritmetický priemer |
| 0,001                  | 40,94                             | 40,37      | 40,655              |
| 0,002                  | 35,26                             | 35,98      | 35,620              |
| 0,003                  | 34,02                             | 33,56      | 33,790              |
| 0,005                  | 30,64                             | 30,98      | 30,810              |
| 0,010                  | 29,54                             | 29,71      | 29,625              |
| 0,030                  | 28,76                             | 28,22      | 28,490              |
| 0,050                  | 28,18                             | 28,31      | 28,245              |
| 0,100                  | 27,61                             | 27,31      | 27,460              |

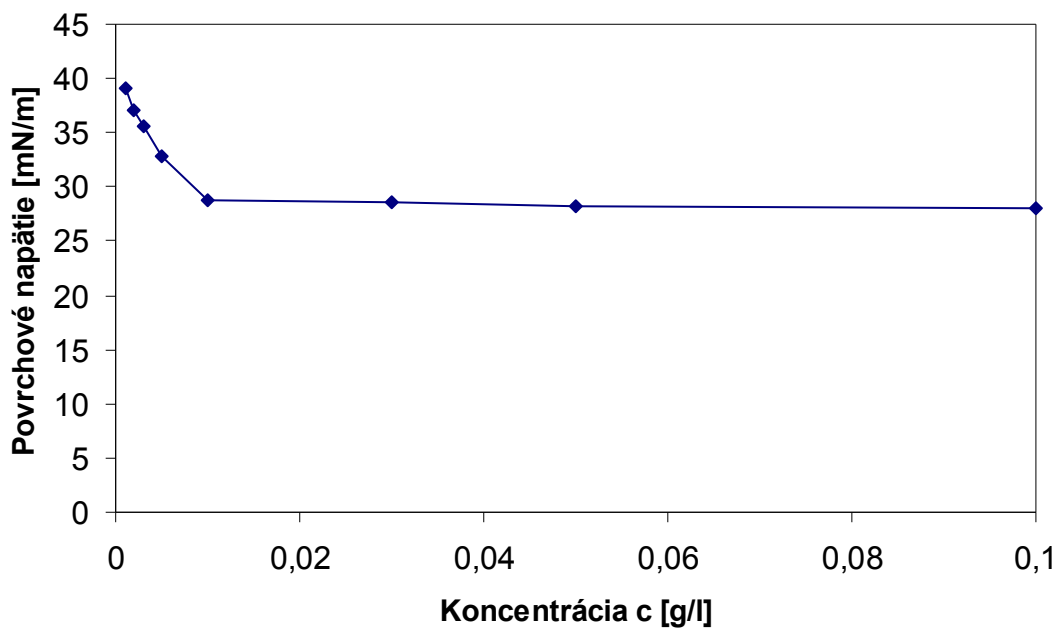


Graf č.7 Chovanie povrchového napätia tenzidu SLOVASOL 255 v závislosti na jeho koncentráciách

## SLOVASOL 257

Tabuľka č.9-10 Povrchové napätie SLOVASOLU 257 v závislosti na koncentráciách

| Koncentrácia c [g/l] | Povrchové napätie $\sigma$ [mN/m] |            |                     |
|----------------------|-----------------------------------|------------|---------------------|
|                      | 1. meranie                        | 2. meranie | Aritmetický priemer |
| 0,001                | 39,92                             | 38,45      | 39,185              |
| 0,002                | 36,84                             | 37,26      | 37,050              |
| 0,003                | 35,59                             | 35,76      | 35,675              |
| 0,005                | 33,64                             | 32,05      | 32,845              |
| 0,010                | 29,37                             | 28,20      | 28,785              |
| 0,030                | 28,96                             | 28,17      | 28,565              |
| 0,050                | 28,74                             | 27,81      | 28,275              |
| 0,100                | 28,30                             | 27,79      | 28,045              |



Graf č.8 Chovanie povrchového napätia tenzidu SLOVASOL 257 v závislosti na jeho koncentráciách

Obecne je známe, že povrchovo aktívne látky (tenzidy) znižujú povrchové napätie kvapalín. Z grafov je vidieť, že so stúpajúcou koncentráciou pripravených roztokov tenzidov povrchové napätie klesalo.

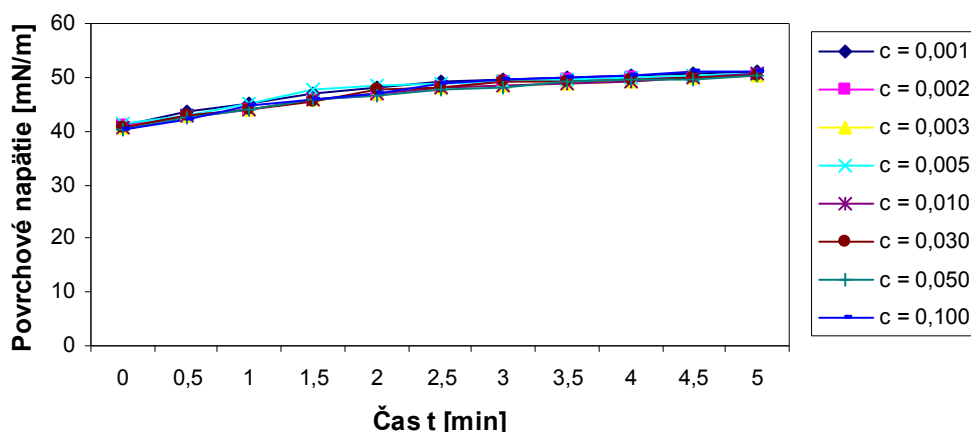
### 9.2.2 Experiment č. 2

V druhej časti experimentu sa zisťovala sorbcia tenzidov na polypropylénovej a polyesterovej tkanine v závislosti na čase po dobu 5 minút. Meranie bolo prevádzkané na mikrotenzometri Krüss K12 v časových intervaloch (0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5).

#### Vyhodnotenie výsledkov merania povrchového napätia roztokov tenzidov o danej koncentrácii pri sorbcii na PP a PES tkaninu v závislosti na čase

Tabuľka č.9-11 Povrchové napätie tenzidu 253 v kontakte s PP tkaninou

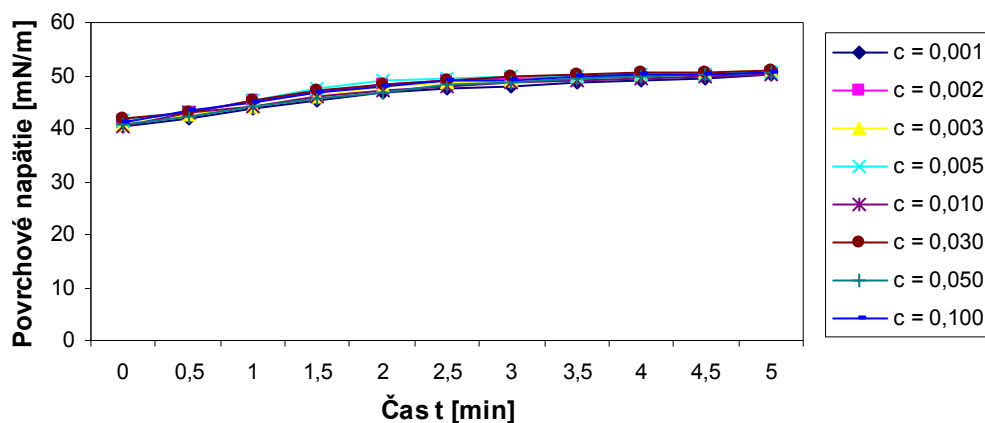
| Povrchové napätie roztoku tenzidu 253 v kontakte s PP |                      |       |       |       |       |       |       |       |
|---|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Čas t [min]   | Koncentrácia c [g/l] |       |       |       |       |       |       |       |
|   | 0,001                | 0,002 | 0,003 | 0,005 | 0,010 | 0,030 | 0,050 | 0,100 |
| 0,0   | 41,02                | 40,88 | 40,57 | 41,39 | 40,58 | 40,49 | 40,35 | 40,30 |
| 0,5   | 43,53                | 42,61 | 42,96 | 43,02 | 42,92 | 42,81 | 42,52 | 42,25 |
| 1,0   | 45,13                | 44,05 | 44,15 | 45,19 | 44,15 | 44,02 | 44,10 | 44,61 |
| 1,5   | 46,98                | 45,73 | 45,88 | 47,54 | 45,88 | 45,53 | 45,87 | 45,90 |
| 2,0   | 48,25                | 46,50 | 47,01 | 48,31 | 47,01 | 47,62 | 46,55 | 47,07 |
| 2,5   | 49,03                | 47,94 | 47,90 | 48,97 | 47,90 | 48,12 | 47,63 | 48,82 |
| 3,0   | 49,57                | 49,17 | 48,58 | 49,22 | 48,58 | 49,03 | 48,19 | 49,57 |
| 3,5   | 50,09                | 49,58 | 48,98 | 49,67 | 48,97 | 49,19 | 49,13 | 49,93 |
| 4,0   | 50,22                | 49,90 | 49,33 | 50,10 | 49,36 | 49,58 | 49,38 | 50,46 |
| 4,5   | 50,68                | 50,12 | 49,90 | 50,21 | 49,90 | 49,92 | 49,66 | 50,92 |
| 5,0   | 51,22                | 50,39 | 50,20 | 50,73 | 50,81 | 50,41 | 50,19 | 51,18 |



Graf č.9 Závislosť povrchového napätia na čase pri sorbcii roztoku SLOVASOL 253 o danej koncentrácii na PP tkaninu

Tabuľka č.9-12 Povrchové napätie tenzidu 253 v kontakte s PES tkaninou

| Povrchové napätie roztoku tenzidu 253 v kontakte s PES |                      |       |       |       |       |       |       |       |
|--|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Čas t [min]  | Koncentrácia c [g/l] |       |       |       |       |       |       |       |
|  | 0,001                | 0,002 | 0,003 | 0,005 | 0,010 | 0,030 | 0,050 | 0,100 |
| 0,0  | 40,49                | 41,69 | 40,93 | 41,59 | 40,28 | 41,70 | 40,92 | 41,10 |
| 0,5  | 41,83                | 43,05 | 42,51 | 43,02 | 42,92 | 43,19 | 42,45 | 43,42 |
| 1,0  | 43,71                | 45,44 | 44,19 | 45,19 | 44,15 | 45,22 | 44,10 | 45,09 |
| 1,5  | 45,18                | 46,72 | 46,08 | 47,54 | 45,87 | 46,99 | 45,72 | 46,82 |
| 2,0  | 46,88                | 48,13 | 47,99 | 48,90 | 47,01 | 48,35 | 46,92 | 47,99 |
| 2,5  | 47,45                | 49,01 | 48,62 | 49,25 | 47,90 | 49,11 | 48,14 | 48,87 |
| 3,0  | 48,07                | 49,25 | 49,15 | 49,81 | 48,58 | 49,83 | 48,66 | 49,22 |
| 3,5  | 48,61                | 49,66 | 49,78 | 49,99 | 48,92 | 50,17 | 49,36 | 49,75 |
| 4,0  | 49,13                | 50,13 | 50,32 | 50,05 | 49,33 | 50,55 | 49,80 | 50,13 |
| 4,5  | 49,55                | 50,20 | 50,50 | 50,31 | 49,90 | 50,68 | 50,05 | 50,31 |
| 5,0  | 50,13                | 50,71 | 51,09 | 50,62 | 50,25 | 51,13 | 50,38 | 50,62 |



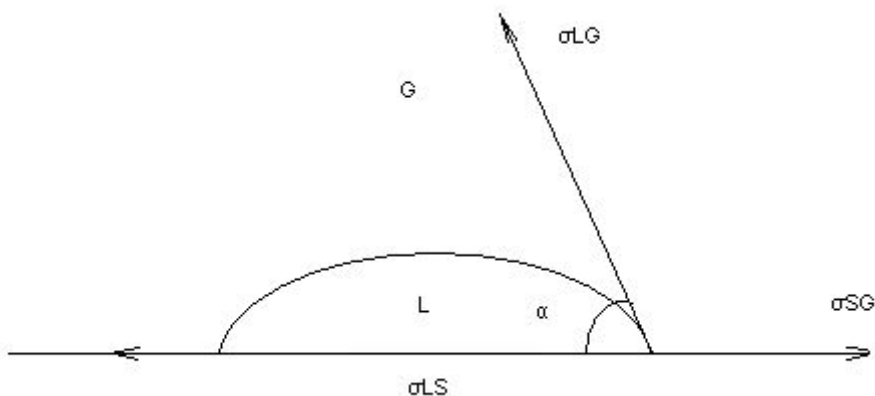
Graf č.10 Závislosť povrchového napätia na čase pri sorbcii roztoku SLOVASOL 253 o danej koncentrácii na PES tkaninu

Predpokladané bolo, že pri zvýšení koncentrácie roztoku PAL dôjde pri sorbcii na polymérny materiál PP a PES k znižovaniu povrchového napätia. V našom prípade pri sorbcii PAL na polymérny materiál PP a PES došlo k opačnému trendu. Dochádzalo k zvyšovaniu povrchového napätia. Vysvetlením toho, môže byť to, že daný polymérny materiál bol zle vypraný, že z neho neboli odstránené všetky zbytky nečistôt, alebo že daný prístroj, na ktorom sa meralo povrchové napätie, bol zle nastavený. Alebo mohlo dôjsť k chybe pri príprave rady koncentračných roztokov, ku vzniku zápornej nabitej elektrickej dvojvrstvy v okolí textílie, ktorá z časti odpudzovala PAL.

V tejto časti experimentu sú uvedené tabuľkové hodnoty a grafy iba jedného roztoku tensidu SLOVASOL 253 vzhľadom k tomu, že namerané hodnoty ostatných roztokov tensidov SLOVASOL 253 10/9, SLOVASOL 255, SLOVASOL 257 mali úplne rovnaký priebeh ako roztok tensidu SLOVASOL 253. Ostatné výsledky (tabuľky a grafy) sú uvedené v Prílohe 2.

### 9.2.3 Experiment č. 3

Zmeraním kontaktných uhlov kvapiek roztoku tensidu SLOVASOL 253 o daných koncentráciách a následným vypočítaním kontaktných uhlov pomocou programov Photoshop a MadCat sa zistilo, že čím vyššia koncentrácia roztoku tensidu sa použila, tým sa povrchové napätie a zároveň aj kontaktný uhol znížil. Meraním sa zistilo, že PP fólia sa chovala hydrofóbne a PES fólia hydrofilne. Povrchová energia PP fólie bola nižšia ako povrchová energia PES fólie.

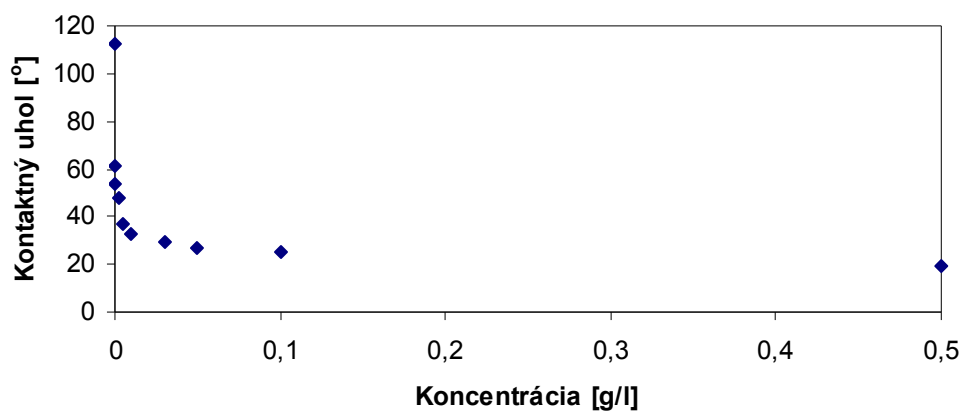


$$\cos \alpha \cdot \sigma_{LG} = \sigma_{SG} - \sigma_{LS}$$

**Vyhodnotenie výsledkov merania a následného vypočítania kontaktných uhlov kvapiek roztoku tenzidu SLOVASOL 253 o daných koncentráciách**

Tabuľka č.9-13 Závislosť koncentrácie tenzidu na kontaktnom uhle PP fólie

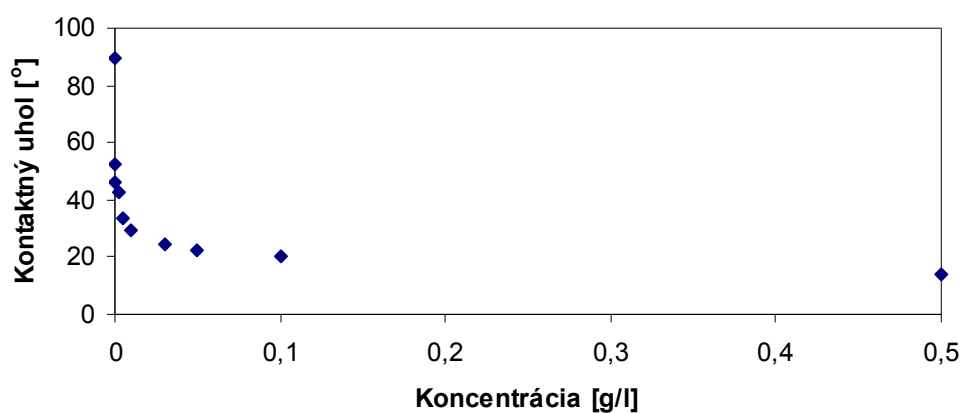
| Koncentrácia<br>SLOVASOL<br>U 253 | Kontaktný uhol $\alpha$ |           |           |           |         | $\sigma_{LG}$ | $\cos(\alpha)$ | $\sigma_{SG}-\sigma_{LS}$ |
|-----------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------------|----------------|---------------------------|
|                                   | Meranie 1               | Meranie 2 | Meranie 3 | Meranie 4 | Priemer |               |                |                           |
| 0                                 | 91,663                  | 90,121    | 89,538    | 85,738    | 89,265  | 72,000        | 1,557          | 112,104                   |
| 0,00025                           | 77,427                  | 76,499    | 79,861    | 78,475    | 78,066  | 45,040        | 1,362          | 61,344                    |
| 0,0005                            | 74,231                  | 73,556    | 70,441    | 74,376    | 73,151  | 42,150        | 1,276          | 53,783                    |
| 0,002                             | 64,550                  | 68,922    | 65,952    | 68,788    | 67,053  | 40,700        | 1,170          | 47,619                    |
| 0,005                             | 62,902                  | 65,281    | 64,873    | 62,700    | 63,939  | 33,155        | 1,115          | 36,968                    |
| 0,01                              | 60,444                  | 60,401    | 62,455    | 60,942    | 61,061  | 30,670        | 1,065          | 32,664                    |
| 0,03                              | 60,260                  | 56,666    | 61,281    | 60,782    | 59,747  | 28,455        | 1,042          | 29,650                    |
| 0,05                              | 58,018                  | 53,885    | 55,045    | 55,568    | 55,629  | 27,585        | 0,970          | 26,757                    |
| 0,1                               | 55,648                  | 51,636    | 50,035    | 54,148    | 52,867  | 27,305        | 0,922          | 25,175                    |
| 0,5                               | 38,381                  | 39,194    | 46,932    | 39,781    | 41,072  | 26,895        | 0,716          | 19,257                    |



Graf č.11 Závislosť koncentrácie roztoku SLOVASOL 253 na kontaktnom uhle PP fólie

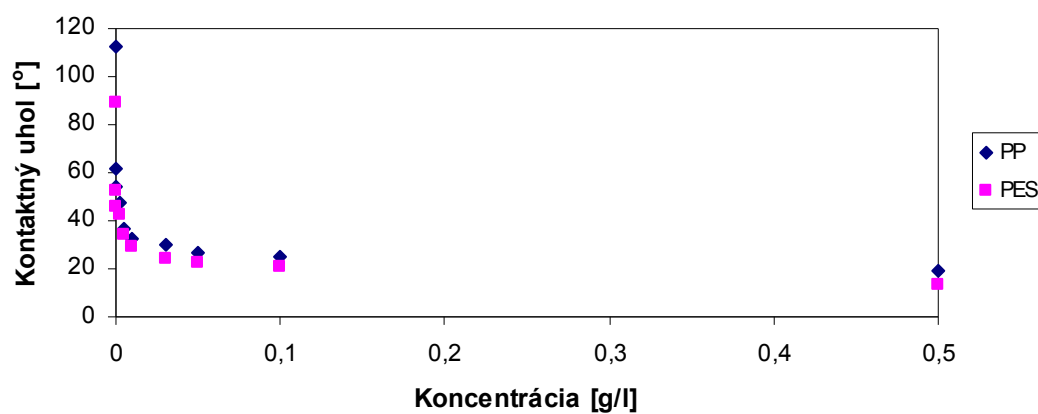
Tabuľka č.9-14 Závislosť koncentrácie tenzidu na kontaktnom uhle PES fólie

| Koncentrácia<br>SLOVASOL<br>U 253 | Kontaktný uhol $\alpha$ |           |           |           |         | $\sigma_{LG}$ | $\cos(\alpha)$ | $\sigma_{SG}-\sigma_{LS}$ |
|-----------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------------|----------------|---------------------------|
|                                   | Meranie 1               | Meranie 2 | Meranie 3 | Meranie 4 | Priemer |               |                |                           |
| 0                                 | 71,224                  | 70,589    | 71,837    | 70,918    | 71,142  | 72,000        | 1,241          | 89,352                    |
| 0,00025                           | 67,213                  | 67,783    | 63,261    | 69,076    | 66,833  | 45,040        | 1,166          | 52,517                    |
| 0,0005                            | 67,026                  | 66,140    | 53,870    | 63,214    | 62,563  | 42,150        | 1,091          | 45,986                    |
| 0,002                             | 60,092                  | 63,558    | 54,020    | 62,999    | 60,167  | 40,700        | 1,041          | 42,369                    |
| 0,005                             | 59,631                  | 61,122    | 52,101    | 60,552    | 58,352  | 33,155        | 1,018          | 33,752                    |
| 0,01                              | 56,145                  | 54,755    | 51,251    | 58,716    | 55,217  | 30,670        | 0,963          | 29,535                    |
| 0,03                              | 42,280                  | 54,419    | 45,310    | 55,193    | 49,301  | 28,455        | 0,860          | 24,471                    |
| 0,05                              | 41,869                  | 52,830    | 42,223    | 50,776    | 46,925  | 27,585        | 0,818          | 22,565                    |
| 0,1                               | 41,756                  | 42,559    | 42,067    | 45,067    | 42,862  | 27,305        | 0,748          | 20,424                    |
| 0,5                               | 31,488                  | 23,212    | 27,703    | 34,016    | 29,105  | 26,895        | 0,508          | 13,663                    |



Graf č.12 Závislosť koncentrácie roztoku SLOVASOL 253 na kontaktnom uhle PES fólie





Graf č.13 Závislosť koncentrácie roztoku SLOVASOL 253 na kontaktnom uhle PP a PES fólie

## 10. ZÁVER

V tejto práci sa testovali štyri PAL (povrchovo aktívne látky), ktoré boli neionogenné a líšili sa od seba chemickým zložením. Vzhľadom k tejto skupine PAL bola zostavená koncentračná rada od najnižšej koncentrácie až po tu najvyššiu 0,1g/l a doštičkovou metódou pomocou prístroja mikrotenzometer Krüss K12 stanovené povrchové napätie jednotlivých roztokov tensidov, ktoré sa pohybovalo v rozmedzí od 27mN/m do 40mN/m. Zistilo sa, že pri zvýšení koncentrácie roztokov tensidov došlo k zníženiu povrchového napätia. Týmto sa tieto výsledky zhodovali s reálnymi, pretože aj v reále platí, čím vyššia je koncentrácia v roztoku, tým je nižšie povrchové napätie. Obecne je známe, že povrchovo aktívne látky (v našom prípade tensidy) znižujú povrchové napätie roztokov.

Druhým cieľom tejto práce bolo stanovenie povrchového napätia doštičkovou metódou pomocou prístroja mikrotenzometer Krüss K12 pri sorbcii na predúpravený polymérny materiál v závislosti na čase. Povrchové napätie tensidov pri sorbcii na predúpravený polymérny materiál kolísalo v rozmedzí od 40mN/m do 50mN/m. A však pri stanovení povrchového napätia roztokov tensidov SLOVASOL 253, 253 10/9, 255, 257 pri sorbcii na polymérny materiál sa zistilo, že došlo k opačnému trendu, dochádzalo k zvyšovaniu povrchového napätia. Zvýšenie povrchového napätia mohlo byť spôsobené adsorpciou tensidu na povrch vlákien, ale aj ďalšími príčinami. O tom či dôjde k nárastu alebo poklesu povrchového napätia roztoku rozhoduje chemická podstata tensidu, ale rovnako aj koncentrácia.

Poslednou úlohou experimentu bolo stanovenie kontaktných uhlov roztoku tensidu SLOVASOL 253. Pre toto stanovenie bola zostavená koncentračná rada roztoku tensidu od najnižšej koncentrácie až po tu najvyššiu 0,5g/l. Meranie sa prevádzalo pomocou prístroja pre zriadenie a archiváciu obrazu, interaktívne a automatizované merania a archiváciu rozsiahlych obrazových sekvencií, na prístroji Lucia. Vyhodnotenie meraní kontaktných uhlov sa previedlo pomocou programov Photoshop, MadCad a vyhodnotením v grafe.

## 11. ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] POSPÍŠIL,Z. A KOLEKTIV: *Príručka textilního odborníka, 1.část*, SNTL – Nakladatelství technické literatury, ALFA – vydavatel'stvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava, 1981
- [2] PAJGRT,REICHSTÄDTER,ŠEVČÍK A KOLEKTIV: *Polypropylénové vlákna*, SNTL – Nakladatelství technické literatury, n.p., 1977
- [3] LACKO,V.: *Výroba a vlastnosti polyesterových vlákien*, Nakladateľstvo ALFA, n.p., 1968
- [4] BAREŠ,M.,ZAJÍC,J.: *Chemie a technologie tensidů a detergentů*, Nakladatelství technické literatury, Praha, 1982
- [5] BLAŽEJ,A. A KOLEKTIV: *Tenzidy*, Vydavatel'stvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava, 1977
- [6] HONZEJKOVÁ,J.: *Fyzikálně chemické parametry tenzidů snadno odbouratelných v odpadních vodách*, Diplomová práce TUL, 2000
- [7] MACHÁŇOVÁ,D.: *Prednášky z predúpravy textilií*
- [8] MULLIGAN,C.N.: *Environmental applications for biosurfactants*, Concordia University, Canada, 2004
- [9] ODVÁRKA,J.: *Teorie zušlechťování*, VŠST Liberec, 1986
- [10] PAČESNÁ,I.: *Fyzikálně chemické parametry tenzidů snadno odbouratelných v odpadních vodách*, Diplomová práce TUL, 1995
- [11] HILL,R.M.: *Current Opinion in Colloids and Interface Science*, 7 (5), p.255-261, 2002
- [12] DEJLOVÁ,P.: *Rovnováha vztlínání kapaliny do nitě*, Diplomová práce, TUL, 2002
- [13] DOSTAL,J.,KAPLAN,P. A KOLEKTIV: *Lekárska chemie II, Bioorganická chemie*, Vydavatel'stvi MU, Brno, 2001
- [14] POUCHLÝ,J.,VAVRUCH,I.: *Fyzikální chemie koloidních soustav*, Státní nakladatelství technické literatúry, Praha, 1960
- [15] VOJUCKIJ,S.S.: *Kurs koloidní chemie*, SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1984
- [16] SMÍŠEK,M.,ČERNÝ,S.: *Aktivní uhlí*, SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1964
- [17] PARIA,S.,KHILAR,K.C.: *A rewiew on experimental studies of surfactant*

- adsorption at the hydrophilic solid – water interface*, Advances in colloid and interface science, 2004
- [18] <http://www.vscht.cz/uchop/udalosti/skripta/l5r/biomasa.htm>
- [19] BARTOVSKÁ, L., ŠIŠKOVÁ, M.: *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav*, VŠCHT, Praha 2002
- [20] BLAŽEJ, A., ŠUTÁ, Š.: *Vlastnosti textilných vlákien*, ALFA – vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, n.p., 1982
- [21] KELLO, V., TKAČ, A.: *Fyzikálna chémia*, ALFA, Bratislava, 1972
- [22] BUŠA, D.: *Vztlínání kapaliny do plasmou upravené textilie*, Bakalárská práce TUL, 2006
- [23] [http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/hesla/uhel\\_smaceni.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/uhel_smaceni.html)
- [24] [http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/hesla/mereni\\_uhlu\\_smaceni.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/mereni_uhlu_smaceni.html)
- [25] <http://www.fp.vslib.cz/kch/texty/Analytika/>
- [26] Podnik Chemosvit a.s., so sídlom vo Svite, Slovensko

**ZOZNAM OBRÁZOK, TABULIEK A GRAFOV****Zoznam obrázkov**

|  |    |
|--|----|
| Obrázok 3-1 Grafické znázornenie amfipatickej molekuly povrchovo aktívnej látky ...  | 12 |
| Obrázok 3-2 Orientovaná adsorpcia povrchovo aktívnych molekúl na povrchu vody...   | 12 |
| Obrázok 3-3 Zmeny vlastností tenzidu v oblasti kritickej micelovej koncentrácie .....  | 14 |
| Obrázok 3-4 Rôzne typy micíel .....  | 15 |
| Obrázok 4-1 Znázornenie tvaru kvapky kvapaliny (L) na pevnom povrchu (S) a smery<br>.....  | 24 |
| vektorového pôsobenia povrchových a medzipovrchových síl, $\alpha$ - kontaktný uhol.....   | 24 |
| Obrázok 5-1 Freundlichova izoterma.....  | 26 |
| Obrázok 5-2 Freundlichova izoterma linearizovaná .....   | 26 |
| Obrázok 5-3 Langmuirova izoterma .....   | 27 |
| Obrázok 5-4 Viacvrstvomá adsorpcia .....   | 28 |
| Obrázok 6-1 napr. reaktívny plyn sorbovaný na aktívnych miestach povrchu porézneho<br>materiálu .....  | 32 |
| Obrázok 7-1 Schéma medzimolekulárnych síl pôsobiaca na molekulu v kvapaline a na<br>jej povrchu, A – na povrchu, B – v objemovej .....   | 33 |
| Obrázok 7-2 Schéma príťažlivých síl pôsobiacich na častice (molekulu alebo atóm)<br>v povrchovej vrstve .....  | 33 |
| Obrázok 8-1 Kvapka kvapaliny na tvrdom povrchu .....   | 34 |
| Obrázok 8-2 Vplyv adsorpcie na hodnotu uhlu zmáčania.....  | 35 |
| Obrázok 8-3 Kontaktný uhol dobre zmáčajúcej kvapaliny (a) na čistom hladkom<br>povrchu, (b) na drsnom povrchu, (c) na chemicky heterogénnom povrchu ( $\varphi_1$<br>poprípade $\varphi_2$ sú podiely častí povrchu, ktoré sa líšia chemickým zložením, na nich má<br>uvažovaná kvapalina uhol zmáčania $\theta_1$ , poprípade $\theta_2$ )..... | 35 |

**Zoznam tabuliek**

|   |    |
|---|----|
| Tabuľka č.9-1 Použitý polymérny materiál (textília).....                        | 37 |
| Tabuľka č.9-2 Použitý polymérny materiál (fólia) .....                          | 41 |
| Tabuľka č.9-3 SLOVASOL 253 .....  | 42 |
| Tabuľka č.9-4 SLOVASOL 253 10/9 .....   | 43 |
| Tabuľka č.9-5 SLOVASOL 255 .....  | 43 |
| Tabuľka č.9-7 Povrchové napätie SLOVASOLU 253 v závislosti na koncentráciách... | 48 |

|   |    |
|---|----|
| Tabuľka č.9-8 Povrchové napätie SLOVASOLU 253 10/9 v závislosti na koncentráciách ..... | 49 |
| Tabuľka č.9-9 Povrchové napätie SLOVASOLU 255 v závislosti na koncentráciách...         | 50 |
| Tabuľka č.9-10 Povrchové napätie SLOVASOLU 257 v závislosti na koncentráciách.          | 51 |
| Tabuľka č.9-11 Povrchové napätie tenzidu 253 v kontakte s PP tkaninou .....             | 52 |
| Tabuľka č.9-12 Povrchové napätie tenzidu 253 v kontakte s PES tkaninou .....            | 53 |
| Tabuľka č.9-13 Závislosť koncentrácie tenzidu na kontaktnom uhle PP fólie.....          | 55 |
| Tabuľka č.9-14 Závislosť koncentrácie tenzidu na kontaktnom uhle PES fólie .....        | 56 |

### **Zoznam grafov**

|  |    |
|--|----|
| Graf č.1 Spektrum dodanej vzorky PP a PES tkaniny v porovnaní s PP a PES databázou .....                                   | 38 |
| Graf č.2 Závislosť priemeru vlákien polypropylénu na počte meraní .....  | 40 |
| Graf č.3 Závislosť priemeru vlákien polyesteru na počte meraní.....  | 41 |
| Graf č.4 Spektrum dodanej vzorky PP a PES fólie v porovnaní s PP a PES databázou .....                                     | 41 |
| Graf č.5 Chovanie povrchového napätia tenzidu SLOVASOL 253 v závislosti na jeho koncentráciách .....                       | 48 |
| Graf č.6 Chovanie povrchového napätia tenzidu SLOVASOL 253 10/9 v závislosti na jeho koncentráciách.....                   | 49 |
| Graf č.7 Chovanie povrchového napätia tenzidu SLOVASOL 255 v závislosti na jeho koncentráciách .....                       | 50 |
| Graf č.8 Chovanie povrchového napätia tenzidu SLOVASOL 257 v závislosti na jeho koncentráciách .....                       | 51 |
| Graf č.9 Závislosť povrchového napätia na čase pri sorbcii roztoku SLOVASOL 253 o danej koncentracii na PP tkaninu .....   | 52 |
| Graf č.10 Závislosť povrchového napätia na čase pri sorbcii roztoku SLOVASOL 253 o danej koncentracii na PES tkaninu ..... | 53 |
| Graf č.11 Závislosť koncentrácie roztoku SLOVASOL 253 na kontaktnom uhle PP fólie .....                                    | 55 |
| Graf č.12 Závislosť koncentrácie roztoku SLOVASOL 253 na kontaktnom uhle PES fólie.....                                    | 56 |
| Graf č.13 Závislosť koncentrácie roztoku SLOVASOL 253 na kontaktnom uhle PP a PES fólie .....                              | 57 |

# **Príloha 1**

Tabuľka č.1 Závislosť priemeru vlákien PP a PES na počte meraní

| Počet meraní | Priemer vlákien |        | Jemnosť [tex] |       |
|--------------|-----------------|--------|---------------|-------|
|              | PP              | PES    | PP            | PES   |
| 1.           | 0,016           | 0,013  | 0,279         | 0,184 |
| 2.           | 0,015           | 0,014  | 0,246         | 0,214 |
| 3.           | 0,014           | 0,013  | 0,214         | 0,184 |
| 4.           | 0,017           | 0,013  | 0,316         | 0,184 |
| 5.           | 0,011           | 0,014  | 0,132         | 0,214 |
| 6.           | 0,012           | 0,0094 | 0,157         | 0,096 |
| 7.           | 0,013           | 0,013  | 0,184         | 0,184 |
| 8.           | 0,015           | 0,012  | 0,246         | 0,157 |
| 9.           | 0,010           | 0,012  | 0,109         | 0,157 |
| 10.          | 0,021           | 0,012  | 0,481         | 0,157 |
| 11.          | 0,017           | 0,0093 | 0,316         | 0,094 |
| 12.          | 0,016           | 0,014  | 0,279         | 0,214 |
| 13.          | 0,0095          | 0,010  | 0,099         | 0,109 |
| 14.          | 0,012           | 0,011  | 0,157         | 0,132 |
| 15.          | 0,015           | 0,012  | 0,246         | 0,157 |
| 16.          | 0,015           | 0,010  | 0,246         | 0,109 |
| 17.          | 0,019           | 0,010  | 0,394         | 0,109 |
| 18.          | 0,012           | 0,010  | 0,157         | 0,109 |
| 19.          | 0,015           | 0,012  | 0,246         | 0,157 |
| 20.          | 0,014           | 0,011  | 0,214         | 0,132 |
| 21.          | 0,016           | 0,010  | 0,279         | 0,109 |
| 22.          | 0,015           | 0,013  | 0,246         | 0,184 |
| 23.          | 0,015           | 0,014  | 0,246         | 0,214 |
| 24.          | 0,015           | 0,0095 | 0,246         | 0,099 |
| 25.          | 0,015           | 0,013  | 0,246         | 0,184 |
| 26.          | 0,013           | 0,015  | 0,184         | 0,246 |
| 27.          | 0,016           | 0,015  | 0,279         | 0,246 |
| 28.          | 0,013           | 0,011  | 0,184         | 0,132 |
| 29.          | 0,015           | 0,014  | 0,246         | 0,214 |
| 30.          | 0,014           | 0,011  | 0,214         | 0,132 |
| 31.          | 0,017           | 0,014  | 0,316         | 0,214 |
| 32.          | 0,017           | 0,0095 | 0,316         | 0,099 |
| 33.          | 0,013           | 0,013  | 0,184         | 0,184 |
| 34.          | 0,013           | 0,013  | 0,184         | 0,184 |
| 35.          | 0,016           | 0,013  | 0,279         | 0,184 |
| 36.          | 0,014           | 0,012  | 0,214         | 0,157 |
| 37.          | 0,013           | 0,014  | 0,184         | 0,214 |
| 38.          | 0,014           | 0,011  | 0,214         | 0,132 |
| 39.          | 0,018           | 0,0083 | 0,354         | 0,075 |
| 40.          | 0,015           | 0,0078 | 0,246         | 0,066 |
| 41.          | 0,019           | 0,011  | 0,394         | 0,132 |
| 42.          | 0,017           | 0,010  | 0,316         | 0,109 |
| 43.          | 0,015           | 0,011  | 0,246         | 0,132 |
| 44.          | 0,018           | 0,010  | 0,354         | 0,109 |
| 45.          | 0,017           | 0,0091 | 0,316         | 0,090 |
| 46.          | 0,013           | 0,011  | 0,184         | 0,132 |
| 47.          | 0,014           | 0,010  | 0,214         | 0,109 |
| 48.          | 0,019           | 0,013  | 0,394         | 0,184 |
| 49.          | 0,017           | 0,013  | 0,316         | 0,184 |
| 50.          | 0,013           | 0,013  | 0,184         | 0,184 |

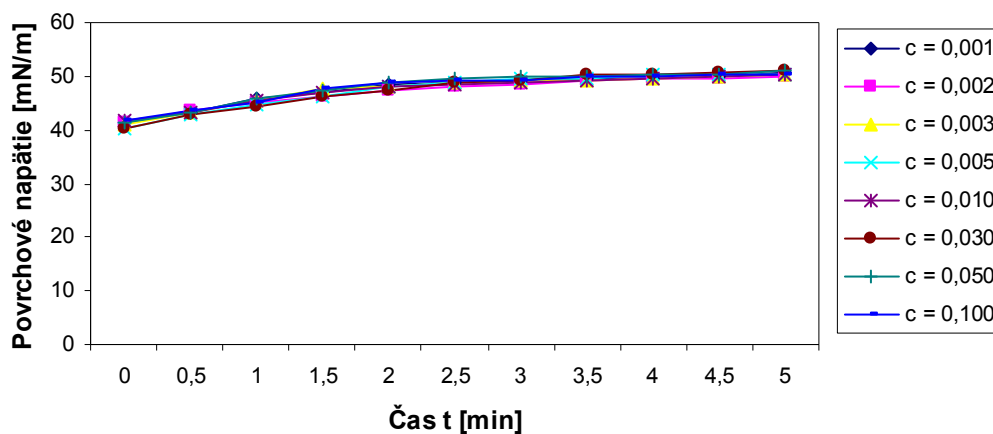


## **Príloha 2**

Tabuľka č.2

| Povrchové napätie roztoku tenzidu 253 10/9 v kontakte s PP |                      |       |       |       |       |       |       |       |
|--|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Čas t [min]  | Koncentrácia c [g/l] |       |       |       |       |       |       |       |
|  | 0,001                | 0,002 | 0,003 | 0,005 | 0,010 | 0,030 | 0,050 | 0,100 |
| 0,0  | 41,55                | 41,52 | 41,15 | 40,12 | 41,62 | 40,13 | 41,33 | 41,66 |
| 0,5  | 43,39                | 43,60 | 43,27 | 42,81 | 43,19 | 42,89 | 43,25 | 43,58 |
| 1,0  | 45,92                | 44,93 | 45,38 | 44,55 | 45,33 | 44,32 | 45,69 | 45,12 |
| 1,5  | 47,05                | 46,18 | 47,59 | 46,13 | 46,85 | 46,15 | 47,30 | 47,88 |
| 2,0  | 48,30                | 47,22 | 48,10 | 48,10 | 47,90 | 47,33 | 48,71 | 48,71 |
| 2,5  | 48,90                | 48,05 | 48,66 | 48,91 | 48,38 | 48,83 | 49,52 | 49,13 |
| 3,0  | 49,13                | 48,32 | 49,11 | 49,38 | 48,75 | 49,17 | 49,76 | 49,30 |
| 3,5  | 49,38                | 49,01 | 49,29 | 49,55 | 49,03 | 50,13 | 50,09 | 49,92 |
| 4,0  | 49,60                | 49,38 | 49,68 | 50,15 | 49,38 | 50,20 | 50,13 | 50,03 |
| 4,5  | 49,93                | 49,61 | 50,07 | 50,24 | 50,01 | 50,57 | 50,37 | 50,19 |
| 5,0  | 50,55                | 50,01 | 50,38 | 50,48 | 50,19 | 50,93 | 50,91 | 50,22 |

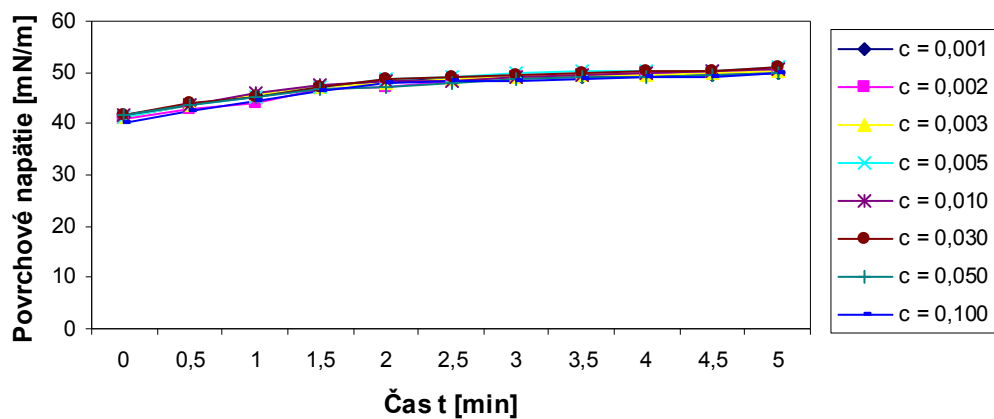
Graf č.1 Závislosť povrchového napätia na čase pri sorbcii roztoku SLOVASOL 25310/9 o danej koncentrácii na PP tkaninu



Tabuľka č.3

| Povrchové napätie roztoku tenzidu 253 10/9 v kontakte s PES |                      |       |       |       |       |       |       |       |
|---|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Čas t [min]   | Koncentrácia c [g/l] |       |       |       |       |       |       |       |
|   | 0,001                | 0,002 | 0,003 | 0,005 | 0,010 | 0,030 | 0,050 | 0,100 |
| 0,0   | 41,43                | 40,98 | 41,25 | 41,12 | 41,63 | 41,53 | 41,52 | 40,15 |
| 0,5   | 43,62                | 42,73 | 43,58 | 43,53 | 43,72 | 43,90 | 43,83 | 42,48 |
| 1,0   | 45,39                | 44,21 | 45,72 | 45,38 | 45,81 | 45,13 | 45,21 | 44,61 |
| 1,5   | 47,15                | 46,58 | 46,97 | 47,25 | 47,38 | 47,18 | 46,87 | 46,53 |
| 2,0   | 48,39                | 47,32 | 48,07 | 48,63 | 48,12 | 48,52 | 47,19 | 47,93 |
| 2,5   | 48,72                | 48,45 | 48,58 | 49,20 | 48,35 | 49,08 | 48,03 | 48,12 |
| 3,0   | 48,93                | 49,01 | 49,15 | 49,77 | 48,91 | 49,57 | 48,52 | 48,35 |
| 3,5   | 49,17                | 49,30 | 49,38 | 50,08 | 49,35 | 49,91 | 48,91 | 48,58 |
| 4,0   | 49,31                | 49,69 | 49,59 | 50,29 | 49,77 | 50,13 | 49,12 | 49,03 |
| 4,5   | 49,55                | 49,95 | 49,98 | 50,41 | 50,07 | 50,35 | 49,33 | 49,22 |
| 5,0   | 50,06                | 50,31 | 50,42 | 51,12 | 50,50 | 50,91 | 49,83 | 50,03 |

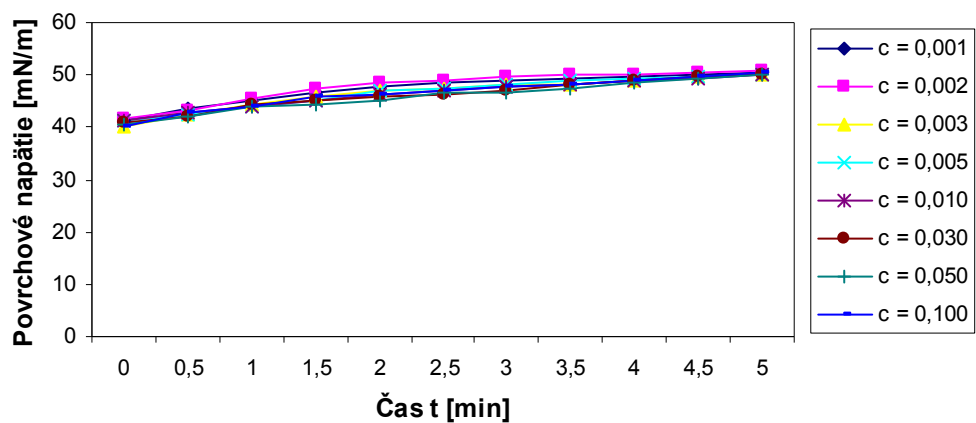
Graf č.2 Závislosť povrchového napätia na čase pri sorbcii roztoku SLOVASOL 253 10/9 o danej koncentrácií na PES tkaninu



Tabuľka č.4

| Povrchové napätie roztoku tenzidu 255 v kontakte s PP |                      |       |       |       |       |       |       |       |
|---|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Čas t [min]   | Koncentrácia c [g/l] |       |       |       |       |       |       |       |
|   | 0,001                | 0,002 | 0,003 | 0,005 | 0,010 | 0,030 | 0,050 | 0,100 |
| 0,0   | 41,13                | 41,52 | 40,27 | 41,33 | 41,25 | 40,73 | 40,49 | 40,23 |
| 0,5   | 43,50                | 43,19 | 42,58 | 42,61 | 42,83 | 42,22 | 42,07 | 42,63 |
| 1,0   | 45,11                | 45,45 | 44,17 | 44,03 | 43,90 | 44,17 | 43,80 | 43,95 |
| 1,5   | 46,52                | 47,20 | 45,91 | 45,21 | 45,08 | 45,08 | 44,51 | 45,67 |
| 2,0   | 47,76                | 48,51 | 46,85 | 46,83 | 46,25 | 45,72 | 45,23 | 46,40 |
| 2,5   | 48,42                | 49,03 | 47,49 | 47,54 | 47,02 | 46,32 | 46,45 | 47,05 |
| 3,0   | 49,05                | 49,58 | 48,19 | 48,03 | 47,68 | 47,13 | 46,72 | 47,61 |
| 3,5   | 49,38                | 49,98 | 48,32 | 48,87 | 48,00 | 48,14 | 47,34 | 48,28 |
| 4,0   | 49,83                | 50,22 | 49,05 | 49,19 | 48,73 | 48,92 | 48,37 | 49,05 |
| 4,5   | 50,19                | 50,42 | 49,82 | 49,63 | 49,17 | 49,58 | 49,20 | 49,64 |
| 5,0   | 50,32                | 50,95 | 50,18 | 50,13 | 50,01 | 50,15 | 50,25 | 50,28 |

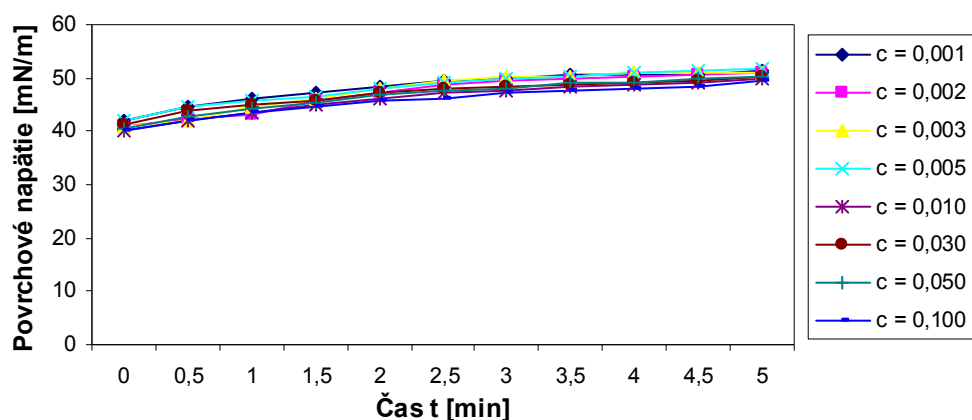
Graf č.3 Závislosť povrchového napätia na čase pri sorbcii roztoku SLOVASOL 255 o danej koncentrácií na PP tkaninu



Tabuľka č.5

| Povrchové napätie roztoku tenzidu 255 v kontakte s PES |                      |       |       |       |       |       |       |       |
|--|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Čas t [min]  | Koncentrácia c [g/l] |       |       |       |       |       |       |       |
|  | 0,001                | 0,002 | 0,003 | 0,005 | 0,010 | 0,030 | 0,050 | 0,100 |
| 0,0  | 42,06                | 40,77 | 41,05 | 41,95 | 40,15 | 41,28 | 40,57 | 40,15 |
| 0,5  | 44,57                | 42,24 | 42,15 | 44,58 | 41,84 | 43,82 | 42,73 | 42,01 |
| 1,0  | 45,95                | 43,17 | 44,59 | 45,72 | 43,45 | 44,91 | 44,09 | 43,51 |
| 1,5  | 47,21                | 45,76 | 46,10 | 46,43 | 44,95 | 45,92 | 45,55 | 44,66 |
| 2,0  | 48,19                | 47,23 | 47,98 | 48,06 | 46,03 | 47,43 | 46,83 | 45,67 |
| 2,5  | 49,32                | 48,79 | 49,55 | 49,19 | 47,18 | 47,95 | 47,52 | 46,22 |
| 3,0  | 49,98                | 49,56 | 50,15 | 49,77 | 47,55 | 48,19 | 48,11 | 47,31 |
| 3,5  | 50,45                | 49,93 | 50,43 | 50,28 | 48,21 | 48,66 | 48,95 | 47,73 |
| 4,0  | 50,57                | 50,10 | 50,88 | 50,90 | 48,66 | 49,13 | 49,17 | 48,08 |
| 4,5  | 50,68                | 50,56 | 51,03 | 51,34 | 49,11 | 49,59 | 49,70 | 48,50 |
| 5,0  | 51,35                | 51,11 | 51,17 | 51,93 | 49,87 | 50,18 | 50,25 | 49,38 |

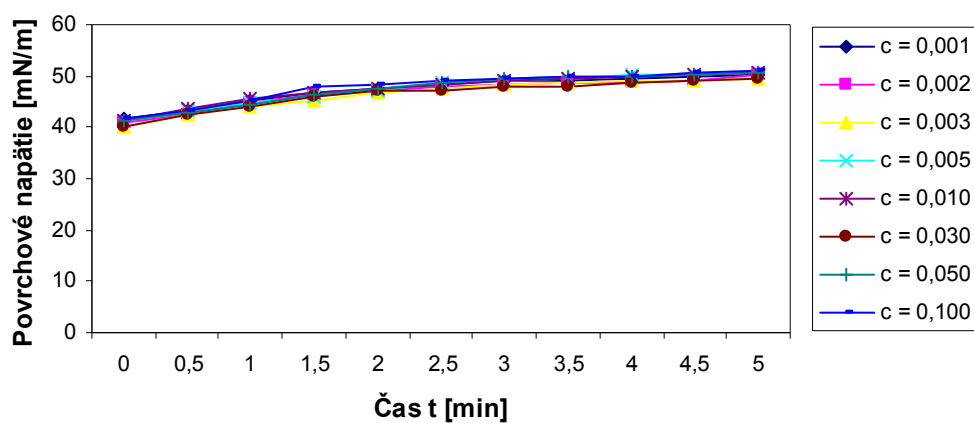
Graf č.4 Závislosť povrchového napätia na čase pri sorbcii roztoku SLOVASOL 255 o danej koncentrácií na PES tkaninu



Tabuľka č.6

| Povrchové napätie roztoku tenzidu 257 v kontakte s PP |                      |       |       |       |       |       |       |       |
|---|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Čas t [min]   | Koncentrácia c [g/l] |       |       |       |       |       |       |       |
|   | 0,001                | 0,002 | 0,003 | 0,005 | 0,010 | 0,030 | 0,050 | 0,100 |
| 0,0   | 41,52                | 40,72 | 40,13 | 41,32 | 41,35 | 40,32 | 41,35 | 41,60 |
| 0,5   | 43,21                | 42,33 | 42,28 | 43,11 | 43,62 | 42,62 | 42,96 | 43,25 |
| 1,0   | 45,12                | 44,82 | 43,98 | 44,66 | 45,42 | 44,10 | 44,51 | 45,32 |
| 1,5   | 46,93                | 46,33 | 45,30 | 45,93 | 46,89 | 45,97 | 46,19 | 47,83 |
| 2,0   | 47,66                | 47,15 | 46,86 | 47,05 | 47,45 | 47,05 | 47,38 | 48,12 |
| 2,5   | 48,19                | 47,90 | 47,50 | 48,73 | 48,32 | 47,33 | 48,66 | 48,91 |
| 3,0   | 49,01                | 48,22 | 48,39 | 49,21 | 49,01 | 47,85 | 49,35 | 49,38 |
| 3,5   | 49,09                | 48,57 | 48,72 | 49,58 | 49,33 | 48,09 | 49,83 | 49,90 |
| 4,0   | 49,53                | 48,84 | 49,05 | 50,10 | 49,81 | 48,55 | 50,03 | 50,03 |
| 4,5   | 49,68                | 49,09 | 49,24 | 50,32 | 50,11 | 48,93 | 50,22 | 50,71 |
| 5,0   | 50,10                | 50,24 | 49,51 | 50,53 | 50,84 | 49,41 | 50,79 | 50,98 |

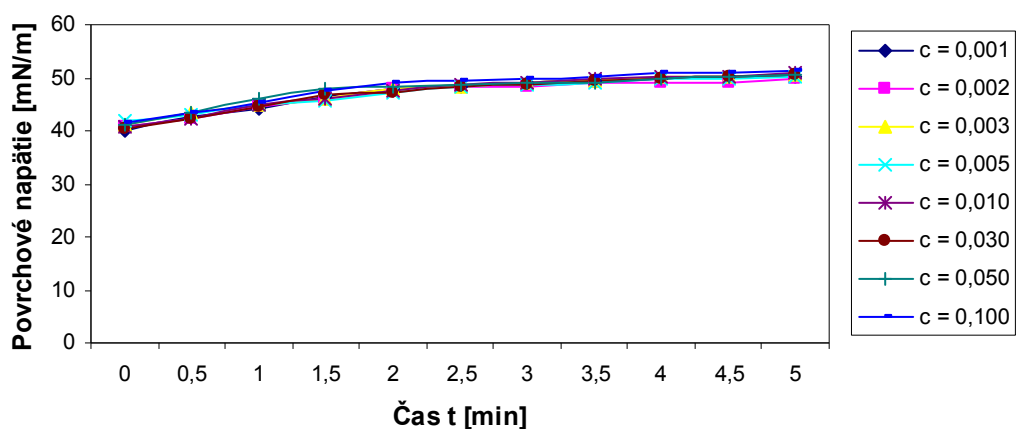
Graf č.5 Závislosť povrchového napätia na čase pri sorbcii roztoku SLOVASOL 257 o danej koncentracii na PP tkaninu



Tabuľka č.7

| Povrchové napätie roztoku tenzidu 257 v kontakte s PES |                      |       |       |       |       |       |       |       |
|--|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Čas t [min]  | Koncentrácia c [g/l] |       |       |       |       |       |       |       |
|  | 0,001                | 0,002 | 0,003 | 0,005 | 0,010 | 0,030 | 0,050 | 0,100 |
| 0,0  | 40,13                | 40,77 | 41,32 | 41,70 | 40,59 | 40,33 | 41,28 | 41,38 |
| 0,5  | 42,58                | 42,32 | 43,55 | 43,01 | 42,13 | 42,10 | 43,53 | 43,52 |
| 1,0  | 44,32                | 44,58 | 44,93 | 44,85 | 44,72 | 44,45 | 45,91 | 45,12 |
| 1,5  | 46,53                | 46,09 | 46,19 | 45,63 | 46,10 | 46,63 | 47,80 | 47,39 |
| 2,0  | 47,85                | 47,81 | 47,88 | 47,13 | 47,67 | 47,19 | 48,19 | 48,92 |
| 2,5  | 48,38                | 48,13 | 48,28 | 48,45 | 48,50 | 48,25 | 48,66 | 49,57 |
| 3,0  | 48,93                | 48,42 | 49,10 | 48,73 | 49,22 | 48,69 | 49,05 | 49,95 |
| 3,5  | 49,44                | 48,90 | 49,61 | 49,21 | 49,90 | 49,52 | 49,22 | 50,32 |
| 4,0  | 49,88                | 49,13 | 50,12 | 49,66 | 50,05 | 49,88 | 49,85 | 50,89 |
| 4,5  | 50,17                | 49,21 | 50,29 | 49,90 | 50,33 | 50,10 | 50,08 | 50,98 |
| 5,0  | 50,34                | 49,83 | 50,38 | 50,25 | 51,08 | 50,73 | 50,71 | 51,32 |

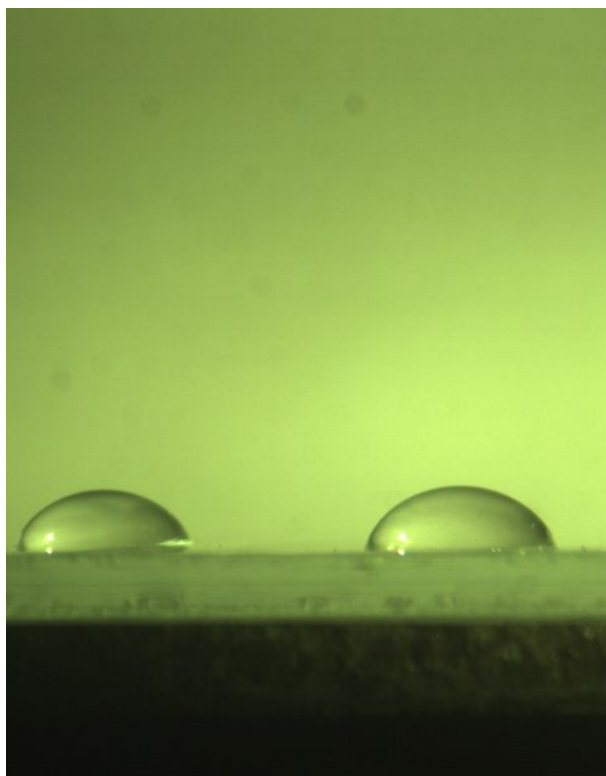
Graf č.6 Závislosť povrchového napätia na čase pri sorbcii roztoku SLOVASOL 257 o danej koncentracii na PES tkaninu



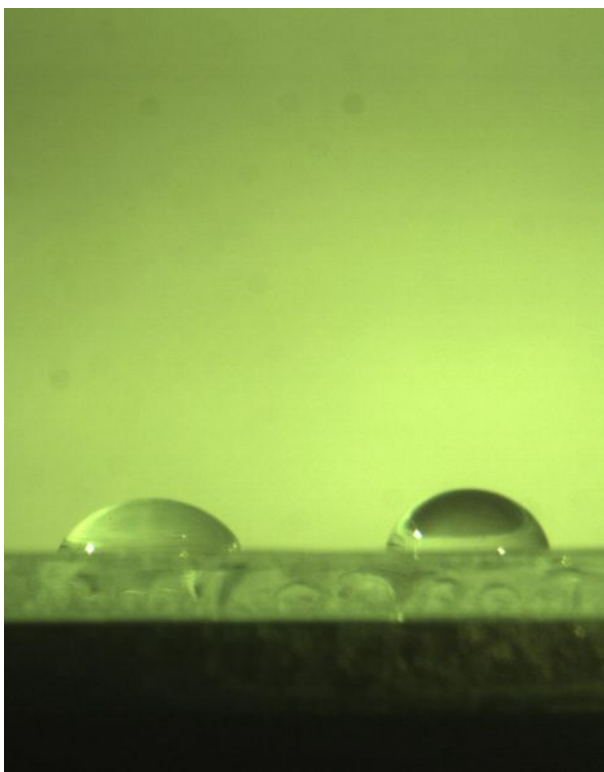
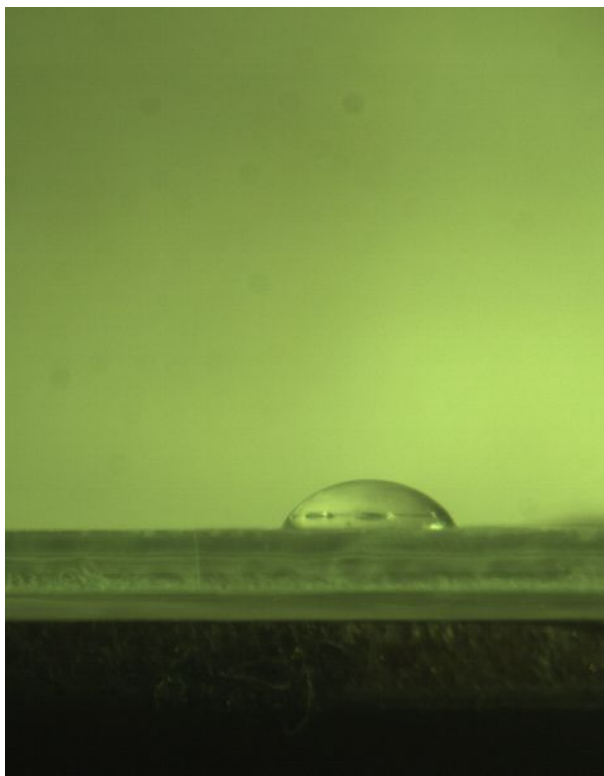
## **Príloha 3**



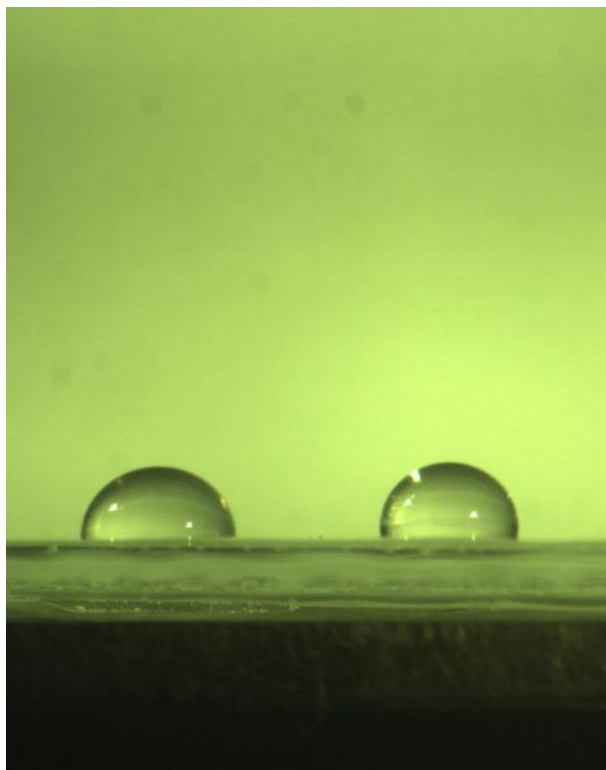
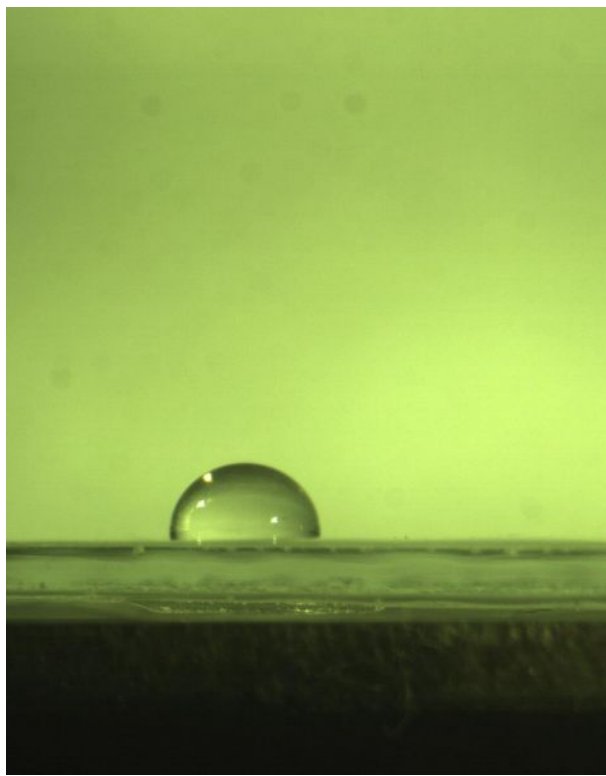
Obrázok č.1 Kvapka destilovanej vody o koncentrácii 0g/l



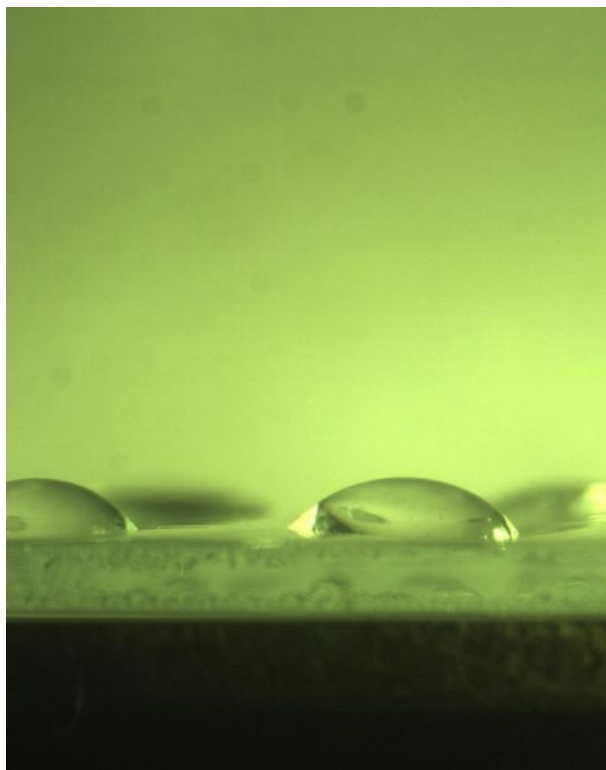
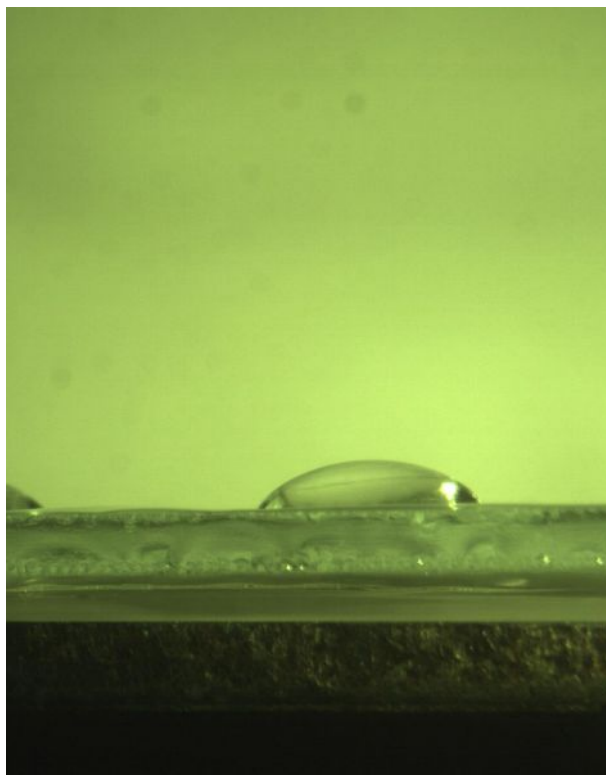
Obrázok č.2 Kvapka roztoku tenzidu SLOVASOL 253 o koncentracii 0,00025g/l na PP fóliu



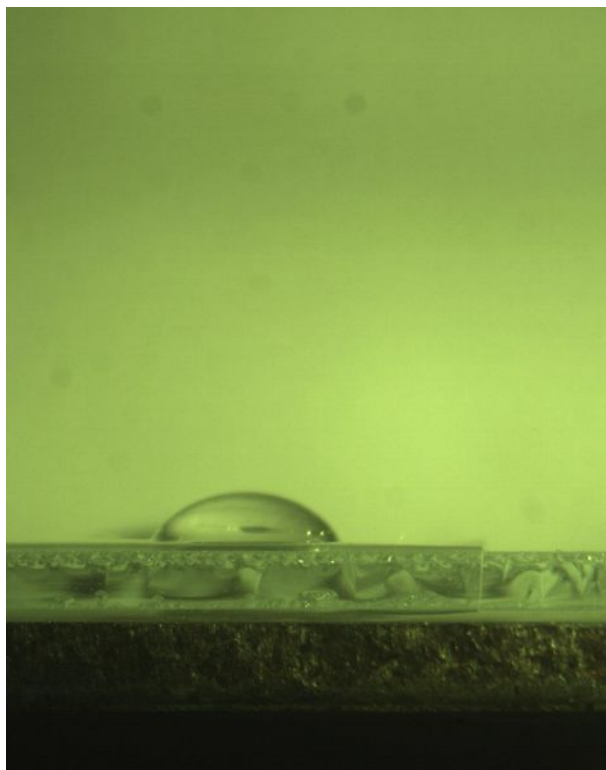
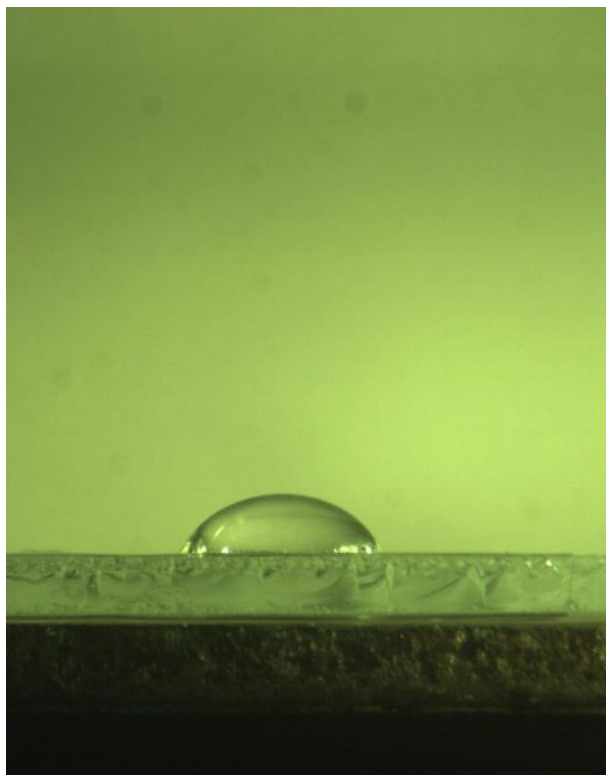
Obrázok č.3 Kvapka roztoku tenzidu SLOVASOL 253 o koncentracii 0,0005g/l na PP fóliu



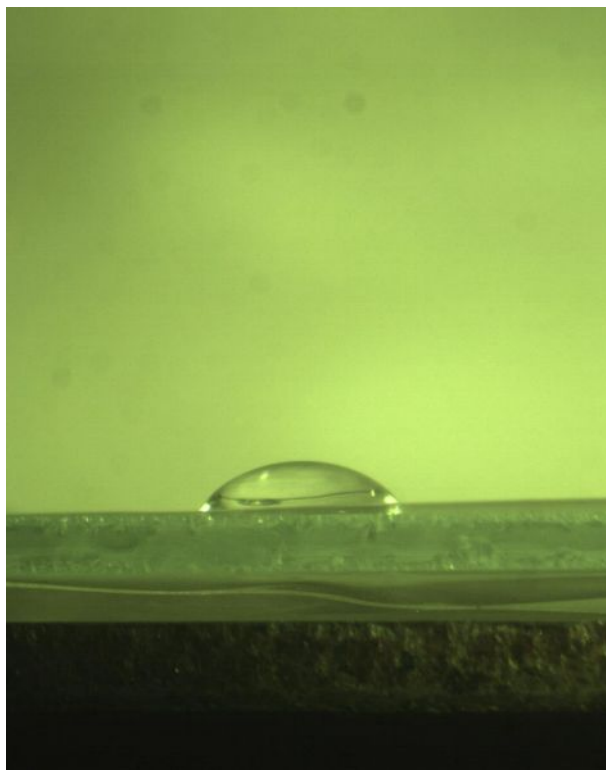
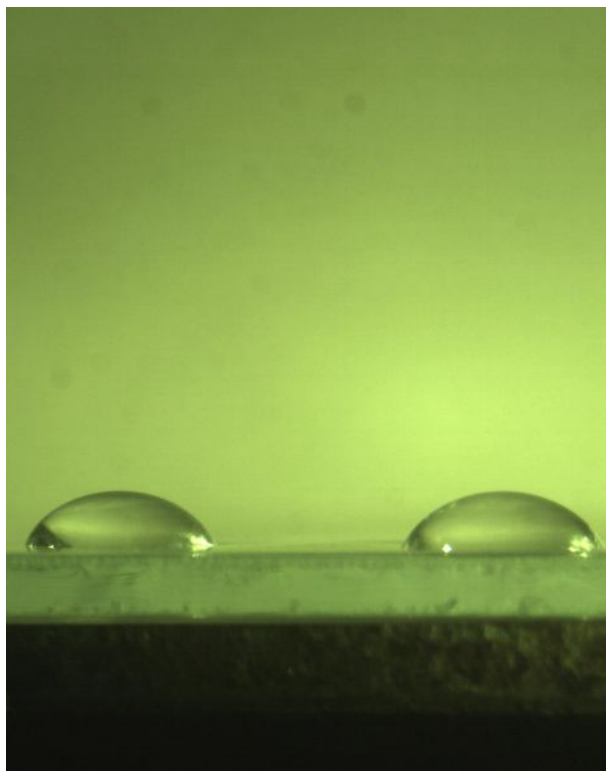
Obrázok č.4 Kvapka roztoku tenzidu SLOVASOL 253 o koncentracii 0,002g/l na PP fóliu



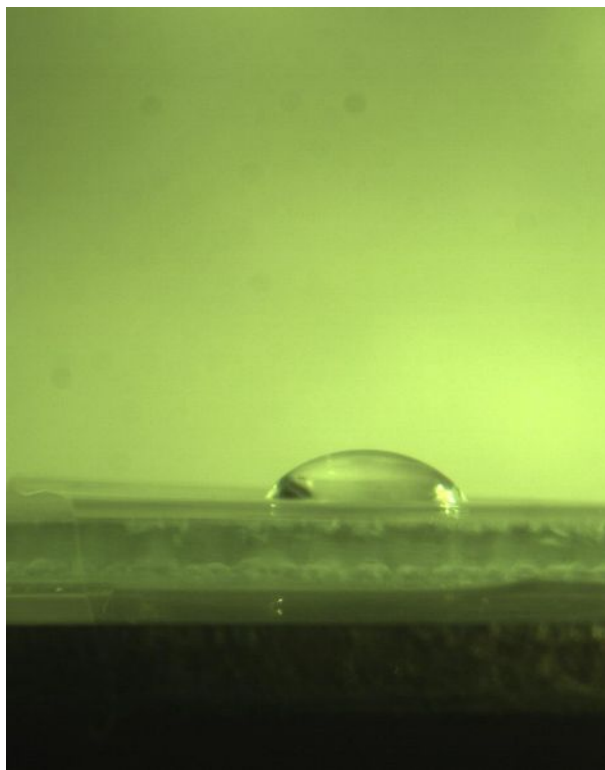
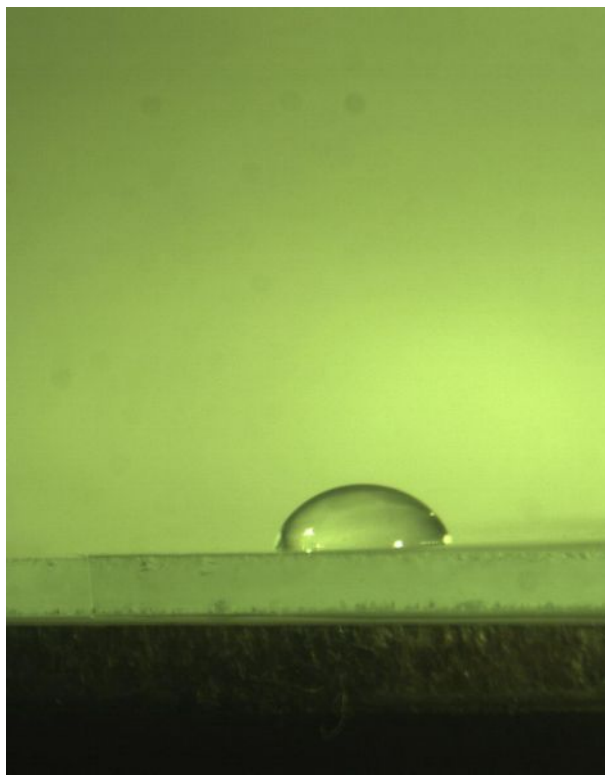
Obrázok č.5 Kvapka roztoku tenzidu SLOVASOL 253 o koncentracii 0,005g/l na PP fóliu



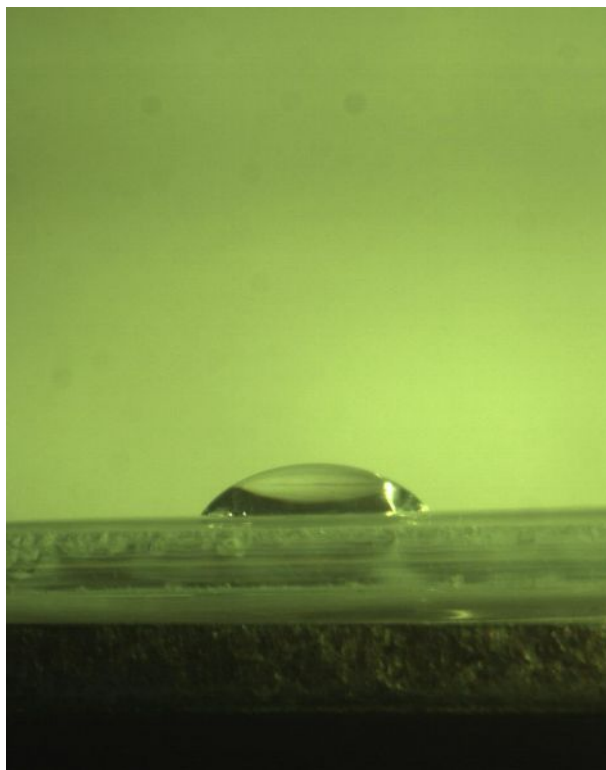
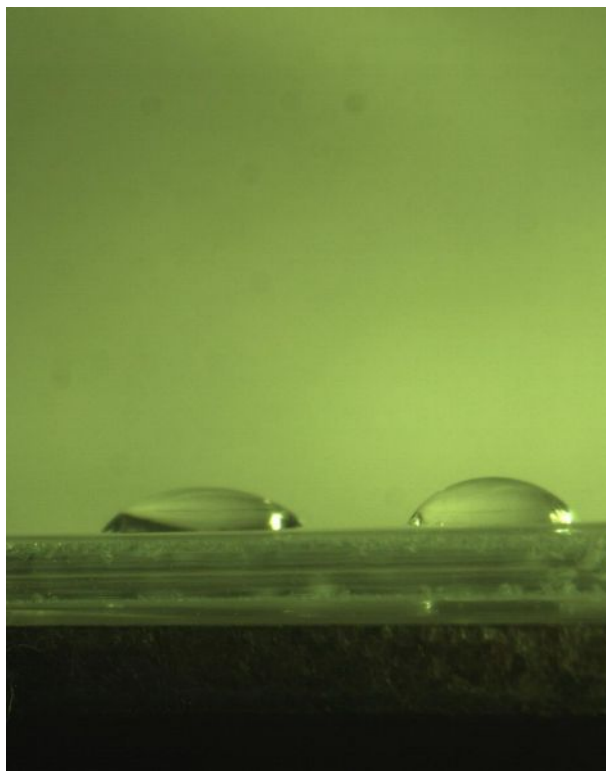
Obrázok č.6 Kvapka roztoku tenzidu SLOVASOL 253 o koncentracii 0,01g/l na PP fóliu



Obrázok č.7 Kvapka roztoku tenzidu SLOVASOL 253 o koncentracii 0,03g/l na PP fóliu

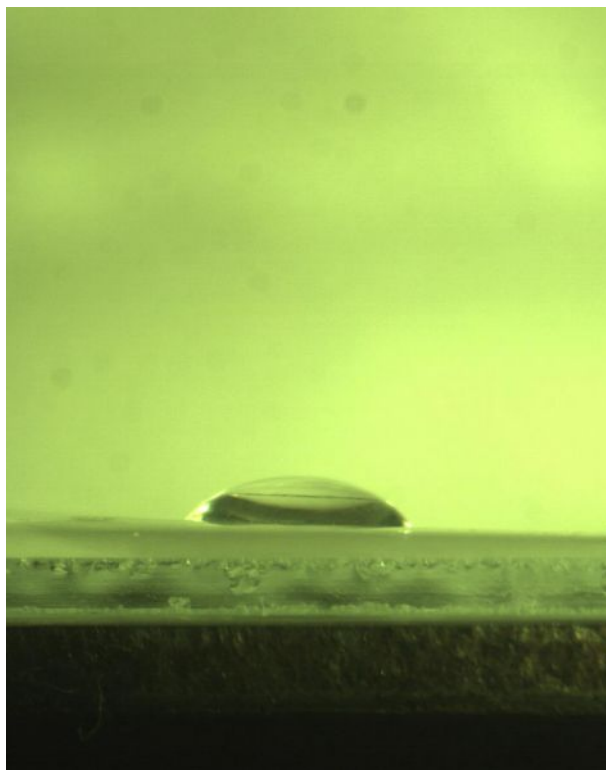
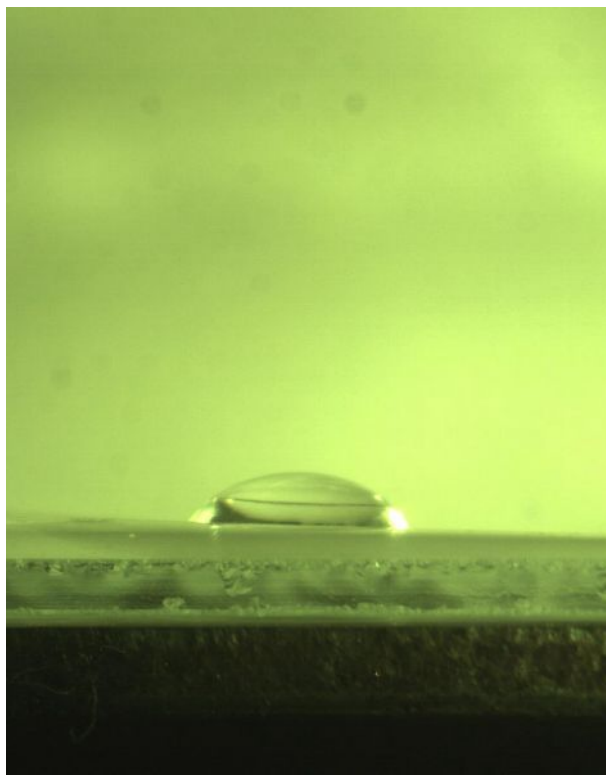


Obrázok č.8 Kvapka roztoku tenzidu SLOVASOL 253 o koncentracii 0,05g/l na PP fóliu

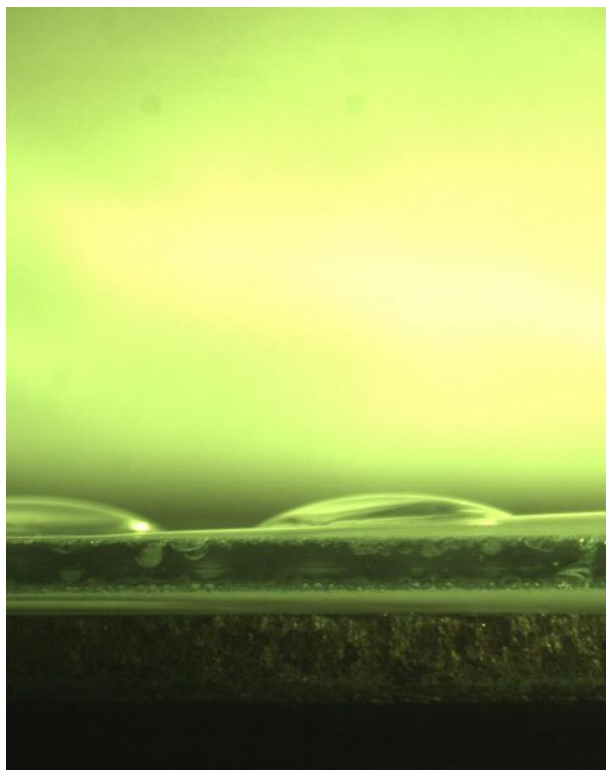
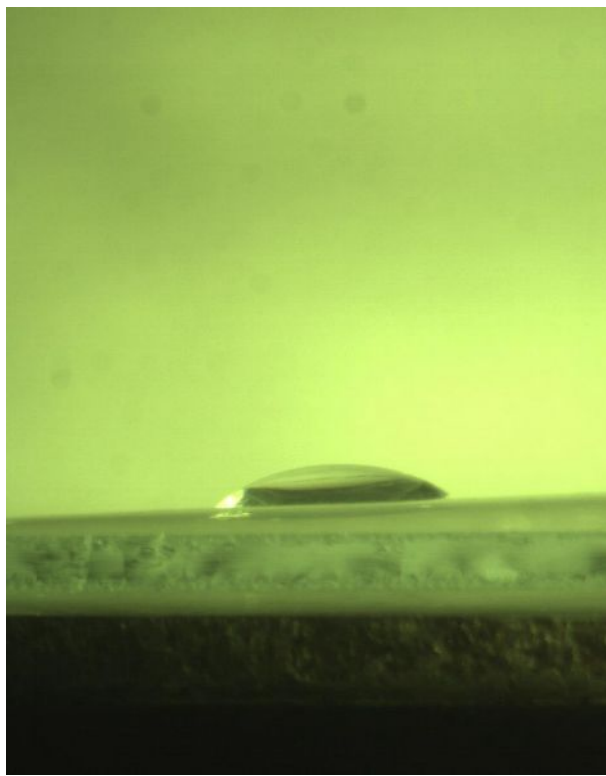




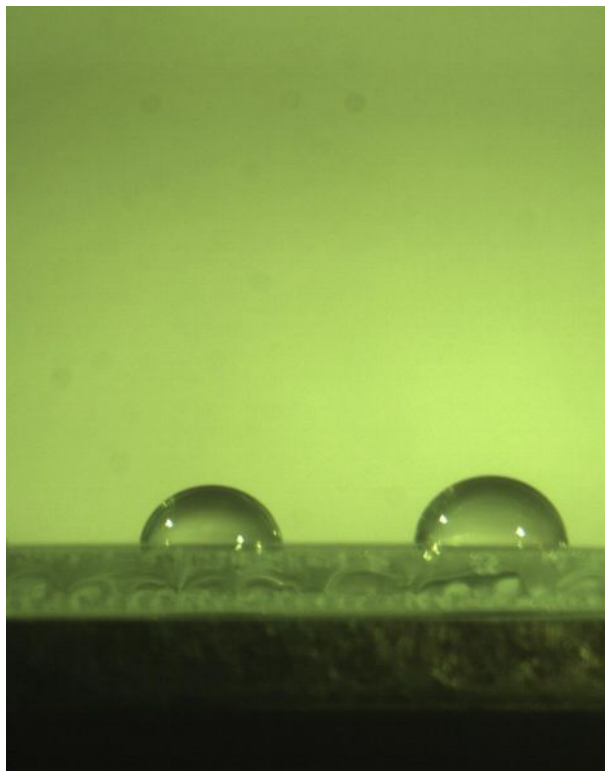
Obrázok č.9 Kvapka roztoku tenzidu SLOVASOL 253 o koncentracii 0,1g/l na PP fóliu



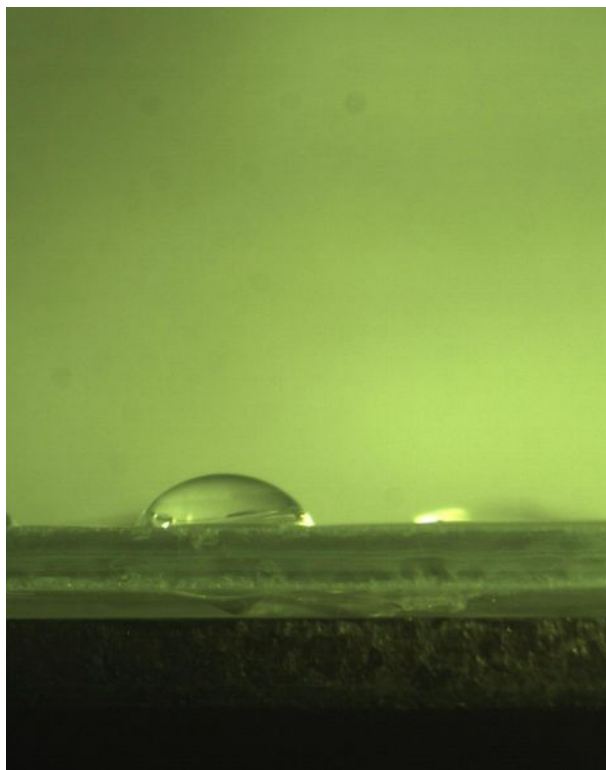
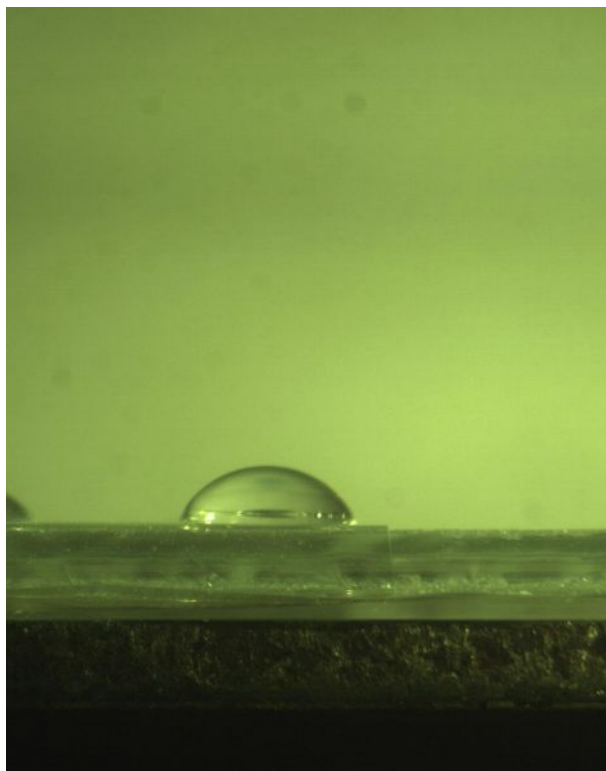
Obrázok č.10 Kvapka roztoku tenzidu SLOVASOL 253 o koncentracii 0,5g/l na PP fóliu



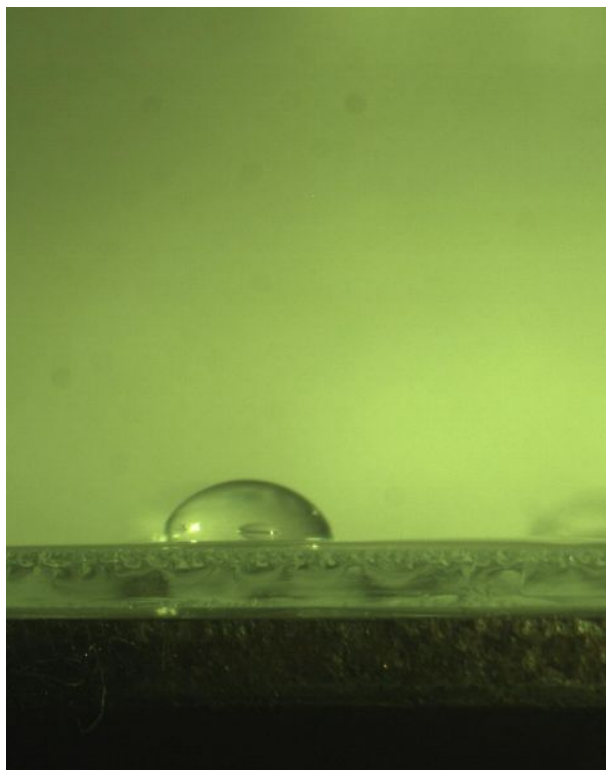
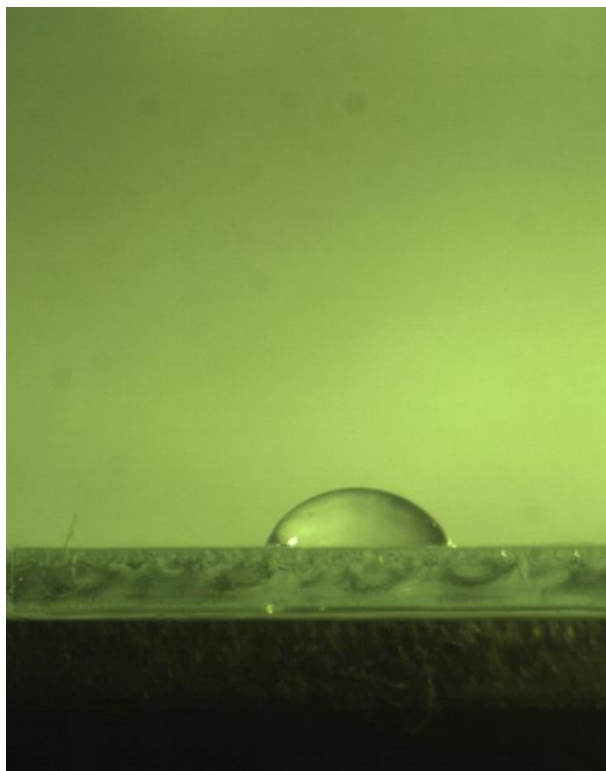
Obrázok č.11 Kvapka destilovanej vody o koncentrácii 0g/l



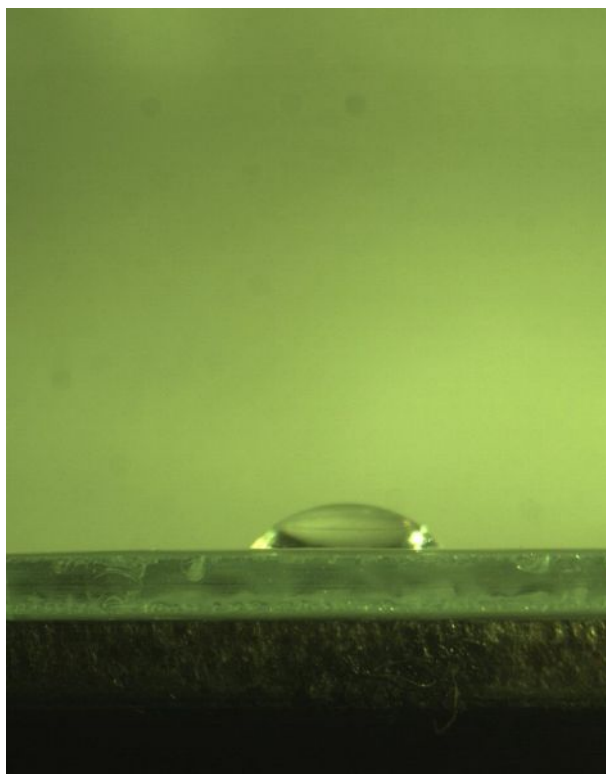
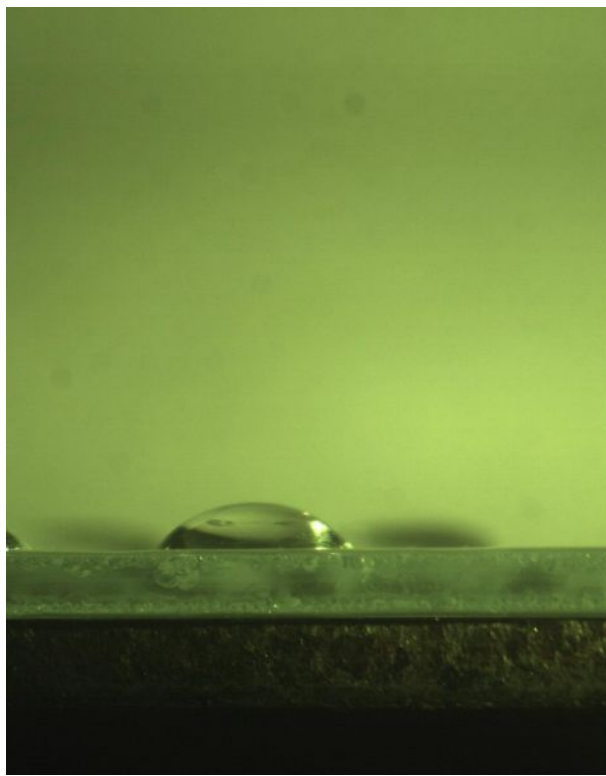
Obrázok č.12 Kvapka roztoku tenzidu SLOVASOL 253 o koncentracii 0,00025g/l na PES fóliu



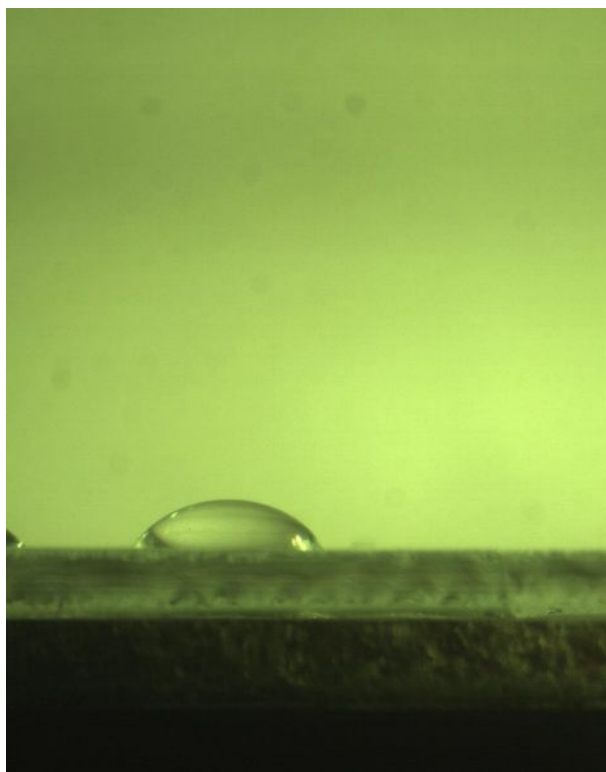
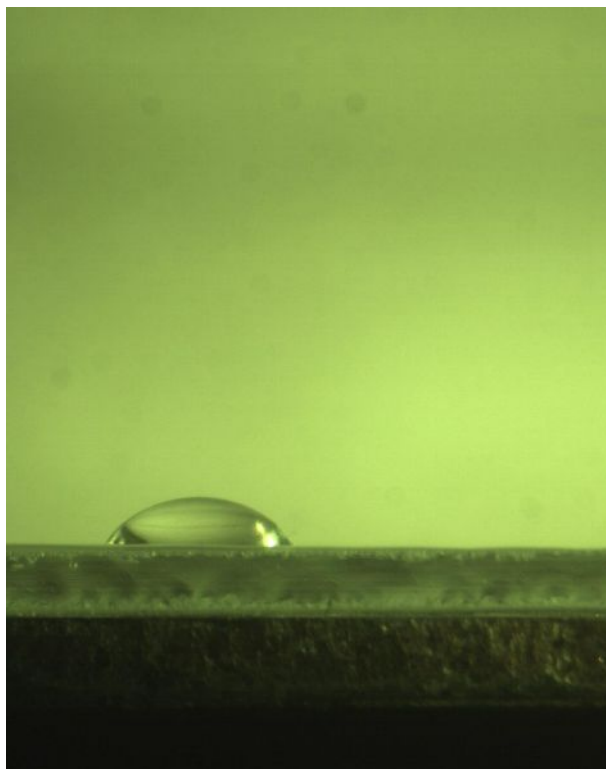
Obrázok č.13 Kvapka roztoku tenzidu SLOVASOL 253 o koncentracii 0,0005g/l na PES fóliu



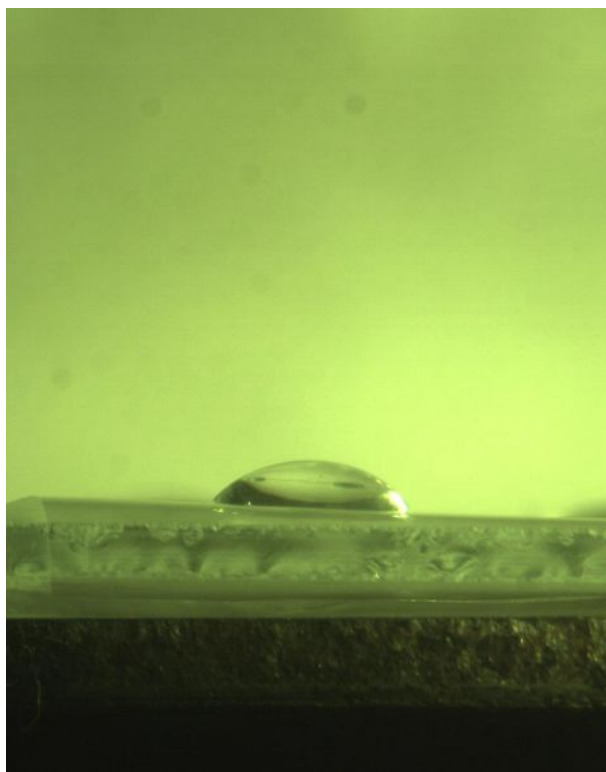
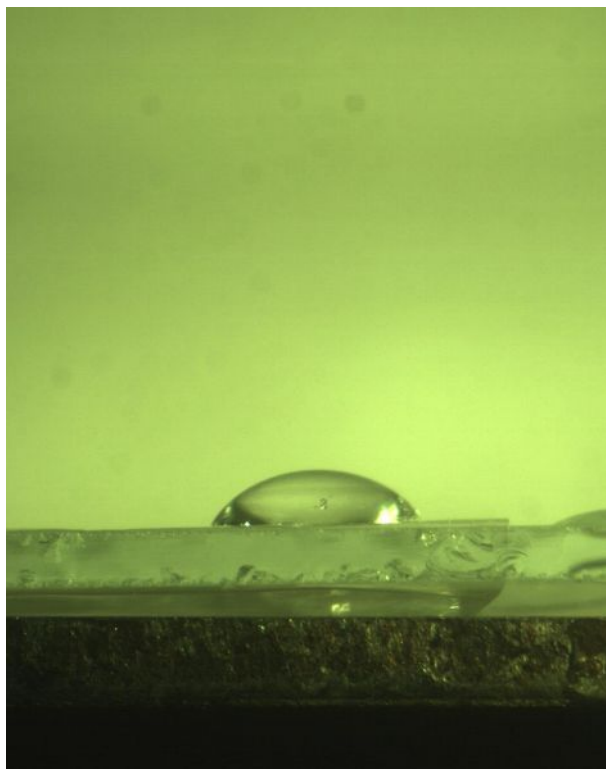
Obrázok č.14 Kvapka roztoku tenzidu SLOVASOL 253 o koncentracii 0,002g/l na PES fóliu



Obrázok č.15 Kvapka roztoku tenzidu SLOVASOL 253 o koncentracii 0,005g/l na PES fóliu

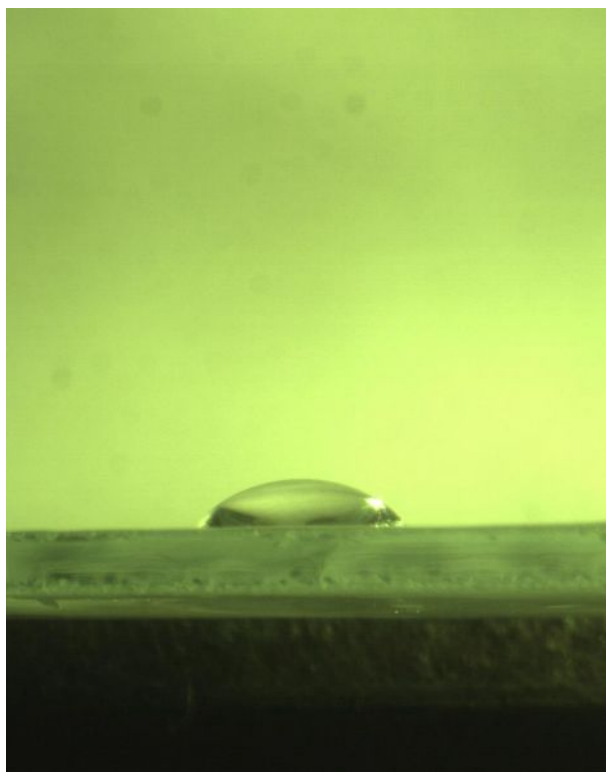
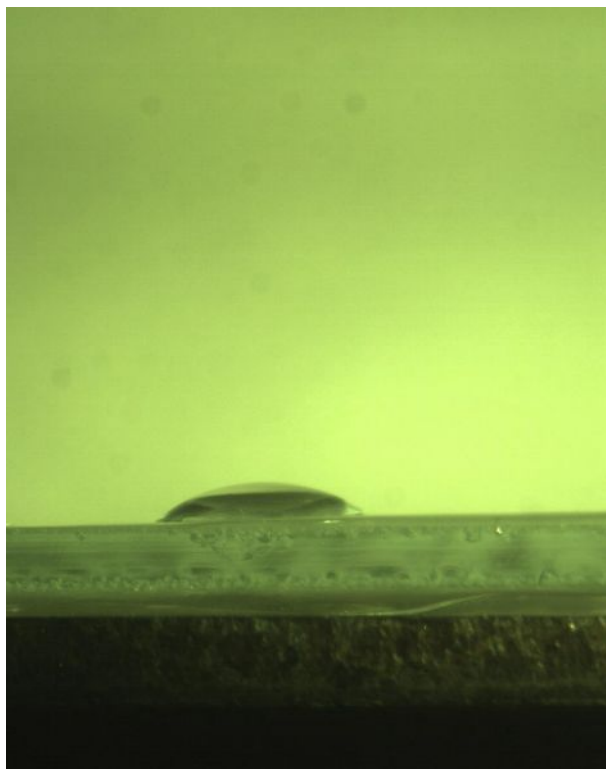


Obrázok č.16 Kvapka roztoku tenzidu SLOVASOL 253 o koncentracii 0,01g/l na PES fóliu

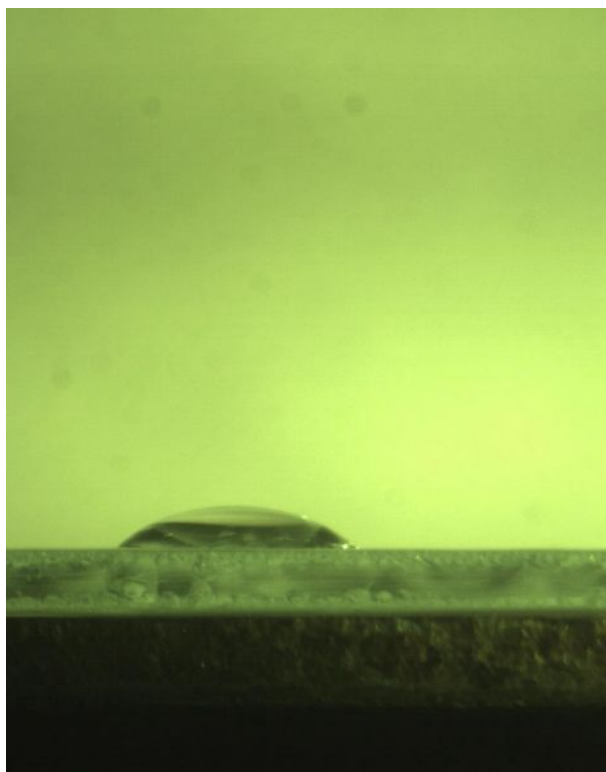
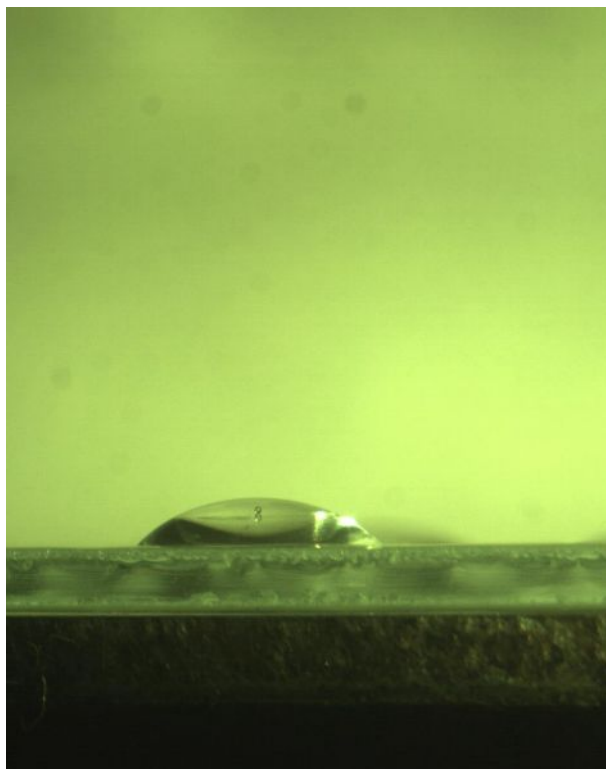




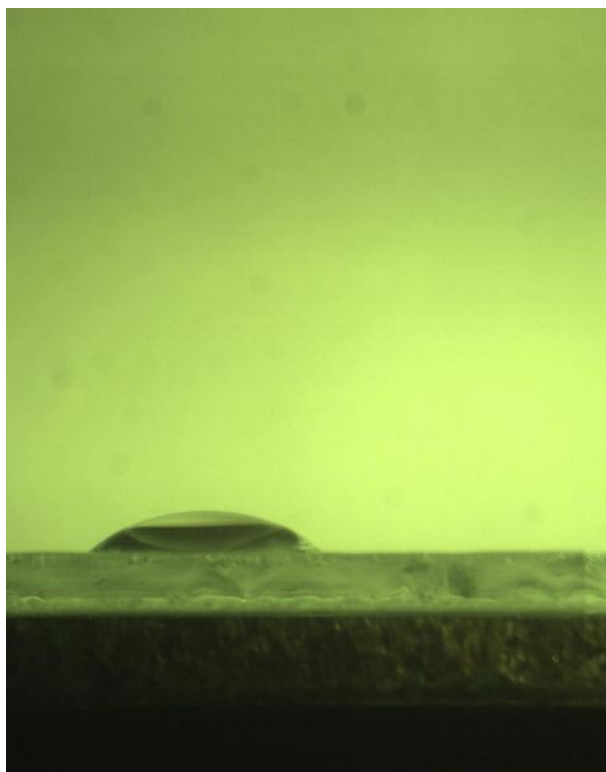
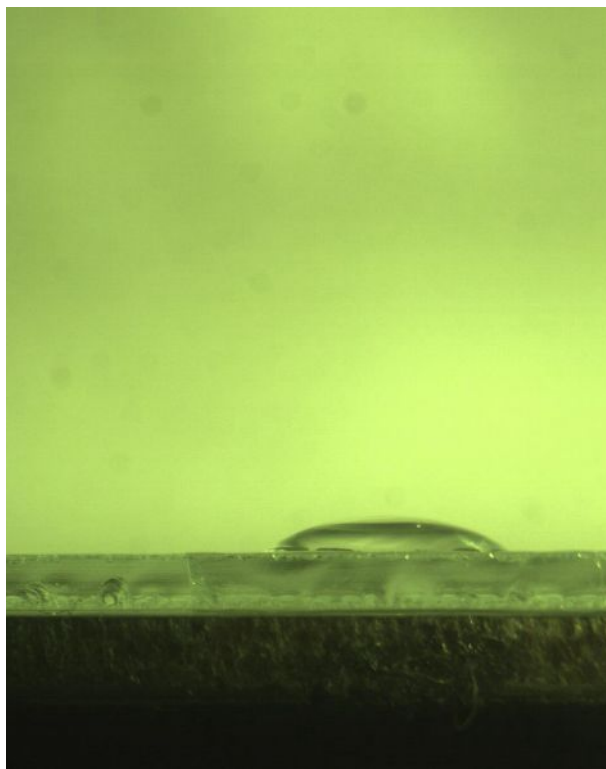
Obrázok č.17 Kvapka roztoku tenzidu SLOVASOL 253 o koncentracii 0,03g/l na PES fóliu



Obrázok č.18 Kvapka roztoku tenzidu SLOVASOL 253 o koncentracii 0,05g/l na PES fóliu



Obrázok č.19 Kvapka roztoku tenzidu SLOVASOL 253 o koncentracii 0,1g/l na PES fóliu



Obrázok č.20 Kvapka roztoku tenzidu SLOVASOL 253 o koncentracii 0,5g/l na PES fóliu

